

Aalto-yliopisto
Teknillinen korkeakoulu
Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta

**NOPEUSRAJOITUKSET ALUSLIIKENTEE YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN,
TURVALLISUUDEN JA SUJUVUUDEN KANNALTA VUOSAAREN MERI-
VÄYLÄLLÄ**

Seppo Paukkeri

Aalto-yliopiston Teknillisen Korkeakoulun
Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitoksella
professori Timo Ernvallin valvonnassa tehty
diplomityö.

Espoo 30.11.2010

Tekijä:	Seppo Paukkeri		
Diplomityö:	Nopeusrajoitukset alusliikenteen ympäristövaikutusten, turvallisuuden ja sujuvuuden kannalta Vuosaaren meriväylällä		
Päivämäärä:	30.11.2010	Sivumäärä:	100
Professuuri:	Liikennetekniikka	Koodi:	Yhd-71
Valvoja:	Prof. Timo Ernvall		
Ohjaajat:	DI Simo Kerkelä, DI Olli Holm		
Avainsanat:	alusliikenne, meriväylä, nopeusrajoitus, alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset, aluksen ohjailu, polttoaineenkulutus, päästöt		
Vuosaaren uusi satamakeskus avattiin vuoden 2008 lopulla. Sataman avaamisen jälkeen huomattiin, että satamaan johdettavalla meriväylällä kulkevat suuret rahtialukset voivat aalto- ja virtausvaikutuksellaan aiheuttaa haittaa väylän varrella olevien saarten rannoilla ja venesatamissa. Väyläviranomaisen määräsi väylälle nopeusrajoitukset, joiden tarkoituksena oli vähentää näitä haittoja. Nopeusrajoituspäätös aiheutti tyytymättömyyttä niin väylän käyttäjien kuin saarten asukkaiden keskuudessa. Rajoitusten katsottiin olevan toisaalta liian suuria alusten aiheuttamien haittavaikutusten kannalta, mutta toisaalta osalla väylää liian pieniä alusten ohjailukyvyn säilyttämiseksi. Tässä diplomityössä selvitetään Vuosaaren väylällä väylän nykyisillä nopeusrajoituksilla liikkuvien rahtialusten aallonmuodostuksen ja virtausten aiheuttamat ympäristövaikutukset väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla ja venesatamissa. Lisäksi selvitetään, ovatko nykyiset nopeusrajoitukset riittävän suuria, jotta alukset voivat liikkua väylällä myös haasteellisissa tuuliolosuhteissa. Työssä tarkastellaan väylälle asetettujen nopeusrajoitusten roolia alusliikenteen ympäristövaikutusten ja turvallisuuden ohella alusliikenteen sujuvuuden, sataman operoinnin sekä alusten polttoaineenkulutuksen, päästöjen ja näiden kustannusten näkökulmasta. Työn tavoitteena on löytää väylälle optimaalinen nopeusrajoitus, jolla alusliikenne olisi turvallista, sujuvaa ja aiheuttaisi mahdollisimman vähän ympäristöön kohdistuvia haittavaikutuksia. Työn kirjallisuusselvitysosiossa käsitellään alusten aiheuttamia aaltoja ja virtauksia sekä niiden vesien käyttöön kohdistuvia ympäristövaikutuksia saaristo-olosuhteissa. Työhön liittyvissä maastotutkimuksissa mitataan alusliikenteen aiheuttamia aaltoja, virtauksia ja vedenpinnan korkeusvaihteluja Vuosaaren väylän varrella sijaitsevien saarten rantojen tuntumassa ja arvioidaan niiden aiheuttamaa haittaa venesatamien ja -laitureiden käytölle sekä rantojen virkistyskäytölle. Väylällä operoiville alusten päälliköille ja luotseille suunnatussa kyselyssä selvitetään eri alustyyppien turvallisen ohjailun vaatimat vähimmäisnopeudet väylällä erilaisissa tuuliolosuhteissa. Väylän nopeusrajoitusten vaikutusta alusliikenteen polttoaineenkulutukseen, päästöihin ja näiden kustannuksiin arvioidaan meriliikenteen päästölaskentamallin (MERIMA) avulla. Alusten aiheuttama aalto- ja virtaushäiriö väylän lähiympäristössä lisääntyy, kun alusnopeudet väylällä kasvavat. Nopeuden ohella aalto- ja virtaushäiriön voimakkuuteen vaikuttavat mm. aluksen koko, kohteen ja väylän välinen etäisyys sekä vesialueen muoto ja syvyysolosuhteet. Laiva-aallot, vedenpinnan korkeusvaihtelut ja virtaukset voivat vaikeuttaa venesatamien ja -laiturien käyttöä, vahingoittaa laitureihin kiinnitettyjä veneitä ja heikentää ranta-alueiden virkistyskäyttämömahdollisuuksia. Ongelmallisia kohteita ovat erityisesti ne väylän lähellä sijaitsevat ranta-alueet, jotka ovat suojassa luonnonaalokolta, mutta alttiina alusten aalto- ja virtaushäiriölle. Nopeusrajoitusten määrittäminen kauppamerenkulun väylälle on vaikea tehtävä. Jos nopeuksia väylällä alennetaan alusten aiheuttamien ympäristövaikutusten vuoksi, alusturvallisuus ja liikenteen sujuvuus voi heikentyä. Tämän työn tuloksena esitetään suosituksia Vuosaaren väylän nopeusrajoituksiksi. Tulosten perusteella nopeusrajoituksia tulisi alusten aiheuttamien ympäristövaikutusten näkökulmasta osalla väylää alentaa. Tämä ei kuitenkaan ole suositeltavaa, sillä useat alukset tarvitsevat nykyisten rajoitusten sallimia tai näitä suurempia nopeuksia, jotta ne voivat liikkua turvallisesti väylällä. Jos nopeusrajoituksia alennetaan, alusturvallisuuden lisäksi myös liikenteen sujuvuus väylällä heikentyy, mikä voi aiheuttaa ongelmia erityisesti linjaliikenteen alusten aikataulujen pitävyydelle. Vaikka osalla väylää nopeusrajoituksia tulisikin alentaa, eräillä toisilla osuuksilla rajoituksia sitä vastoin voitaisiin nostaa ympäristövaikutusten kohtuuttomasti lisääntymättä. Alusten aiheuttamia ympäristövaikutuksia voidaan nopeusrajoituksia alentamatta pyrkiä vähentämään parantamalla venesatamien aaltosuojauksia ja laitureita sekä lisäämällä informaatiota mahdollisista laiva-aalloista ja vedenpinnan korkeusvaihteluista rantojen tuntumassa.			

Author:	Seppo Paukkeri		
Thesis:	Speed limits on the Vuosaari fairway from aspects of environmental effects of vessel traffic, traffic safety and traffic flow smoothness.		
Date:	30.11.2010	Number of pages:	100
Professorship:	Transportation Engineering	Code:	Yhd-71
Supervisor:	Prof. Timo Ernvall		
Instructors:	M. Sc. (Tech) Simo Kerkelä, M.Sc. (Tech) Olli Holm		
Key Words:	vessel traffic, fairway, speed limit, environmental effects of ship-induced waves and currents, ship manoeuvring, fuel consumption, emissions		

The new Vuosaari harbour was opened in late 2008. After opening the harbour it was noticed that waves and currents generated by large cargo vessels, which sail on the fairway leading to the harbour, can cause harm to the shore areas and marinas located near the fairway. The authority ordered speed limits to the fairway, which were intended to reduce these disadvantages. The speed limits led to dissatisfaction not only among the users of the fairway but also among the inhabitants of islands located near the fairway. The speed limits were considered to be too high in terms of injurious effects of the vessel traffic but on the other hand they were found to be too low in some sections of the fairway to maintain the manoeuvrability of the vessels.

This master's thesis examines the environmental effects of waves and current generated by the cargo vessels sailing on the Vuosaari fairway to the shore areas and marinas of islands located near the fairway. The thesis also examines whether the existing speed limits are high enough in terms of safe manoeuvring of vessels also in challenging wind conditions. In addition, the role of the speed limits ordered to the merchant shipping fairway is examined from aspects of traffic flow smoothness, harbour operations as well as fuel consumption and emissions of the vessel traffic and cost of them. This thesis aims to find out the optimal speed limit to the fairway, which allows safe operating and smooth traffic flow on the fairway but the vessels still cause as little injurious environmental effects as possible.

The literature research concentrates on the ship-induced waves and currents, and environmental effects of them in archipelago. The field investigations include measurements of the ship-induced waves, currents and water level variations near shores and in marinas near the fairway. The inquiry investigation aims to find out the minimum required speeds of the vessels on the fairway in terms of safe manoeuvring in different wind conditions. The questionnaires were sent to the masters and the pilots operating on the Vuosaari fairway. The impacts of the speed limits on the fuel consumption and on the emissions of the vessels were estimated by means of the marine traffic emission model (MERIMA).

Wave and current disturbance generated by vessels sailing on the fairway increases when speeds of vessels increase. In addition, the size of a vessel, the distance between a shore and the fairway as well as the shape and the depth of surrounding water area, has a significant role in the wave and current disturbance emergence process. The ship-induced waves, the currents and the water level variations might complicate use of marinas and boat quays, damage moored boats or impair the possibilities of recreational use of shore areas. Problematic areas are particularly those which are sheltered against wind-induced waves but which are now susceptible to the ship-induced waves and currents.

Defining speed limits to the merchant shipping fairway is not simple. Lowering speeds on the fairway might cause problems to the vessel traffic safety and traffic flow smoothness. The recommendations of the speed limits to the Vuosaari fairway are presented as one result of this study. The results show that due to the injurious effects of the vessel traffic, the speed limits should be lowered in some sections of the fairway. However, it is not advisable, because in order to maintain safe operating on the fairway in challenging wind conditions, many vessels require minimum speeds that are very close to the existing speed limits. If the speed limits were lowered, the traffic flow on the fairway would also be impaired. This might cause problems particularly to the schedules of line shipping. Even though the speed limits should be lowered in some sections of the fairway, on the contrary the limits could be raised in some other sections and the injurious environmental effects still are in acceptable level.

The injurious effects of vessel traffic could be reduced, without lowering the speed limits on the fairway, by improving the breakwaters and boat quays in marinas as well as by sharing information about the possibility of the ship-induced waves and water level variations near the shores.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Liikenneviraston Meriosaston Suomenlahden väyläyksikössä vuoden 2010 aikana.

Olen kiitollinen tämän työn aikana saamastani mahdollisuudesta työskennellä minulle läheisen aihepiirin, merenkulun ja laivojen parissa. Kiitokset kuuluvat työni ohjaajille, Suomenlahden väyläyksikön päällikölle DI Simo Kerkelälle, jolta sain työni aiheen sekä DI Olli Holmille Meriosaston Vesiväyläteknisessä yksikössä. Kiitän myös työni valvojaa professori Timo Ernvallia rakentavasta palautteesta ja hyvistä neuvoista matkan varrella.

Haluan kiittää työn aikaisesta yhteistyöstä Finnlines-varustamo, Suomenlahden meriliikennekeskusta, Sipoon saariston asukkaita sekä kaikkia kyselyyn osallistuneita alusten päälliköitä ja luotseja. Erityiskiitokset haluan osoittaa Liikenneviraston tarkastaja Jani Koiraselle ja väylämestari Pekka Ritalalle suuresta avusta maastotutkimuksissa, joiden aikana kahdeksan tunnin päivittäistä työaikaa ei tunnettu.

Lopuksi haluan kiittää perhettäni ja ystäviäni, jotka ovat rohkaisseet ja kannustaneet minua näiden opiskeluvuosieni aikana. Suuret kiitokset kuuluvat myös isosiskolleni työni asiantuntevasta oikoluvusta ja kielellisistä parannusehdotuksista.

Tutkimusprojekti saattaa toisinaan tuntua hyvin haastavalta, mutta

“A ship doesn't travel far in a calm sea.”

– tuntematon

Helsingissä marraskuussa 2010

Seppo Paukkeri

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
LIITTEET	7
KÄSITTEET JA TERMIT	8
1 JOHDANTO	10
1.1 Työn taustaa	10
1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset.....	11
1.3 Tutkimusmenetelmät	11
2 VUOSAAREN SATAMA, MERIVÄYLÄ JA ALUSLIIKENNE	13
2.1 Vuosaaren satama	13
2.2 Meriväylä.....	15
2.3 Väyläliikenteeseen liittyvät osapuolet	18
3 ALUSTEN AIHEUTTAMAT AALLOT JA VIRTAAUKSET JA NIIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	20
3.1 Taustaa	20
3.2 Laiva-aallot	20
3.2.1 Alusten aallonmuodostuksen teoria	20
3.2.2 Aallonmuodostus matalassa vedessä.....	22
3.2.3 Aaltojen ominaisuudet.....	23
3.3 Alusten aiheuttamat virtaukset.....	27
3.4 Laiva-aaltojen ja virtausten arviointimenetelmät	29
3.5 Laiva-aaltojen vertailu luonnonaallokseen.....	33
3.6 Aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset	35
4 MAASTOTUTKIMUKSET	38
4.1 Tutkittavat ilmiöt	38
4.2 Mittausmenetelmät ja -laitteet.....	38
4.3 Mittauskohteet.....	40
4.4 Mittausselostus ja tulokset.....	43
4.4.1 Mittausten toteutus	43
4.4.2 Kuiva Hevosen venesatama.....	43
4.4.3 Krokholmenin mökkiranta	47
4.5 Mittaustulosten arviointia.....	50
4.6 Arviointiyhteenvedo alusten aiheuttamista haittavaikutuksista väylän varrella.....	54
5 ALUSLIIKENTEEN TURVALLISUUS JA SUJUVUUS	57
5.1 Nopeusrajoitusten vaikutukset.....	57
5.2 Alusturvallisuus	57
5.2.1 Alusten ohjailu	57
5.2.2 Vuosaaren väylän erityispiirteet alusten ohjailun kannalta.....	60
5.3 Kysely Vuosaaren väylällä operoiville alusten päälliköille ja luotseille	60
5.3.1 Kyselyn tarkoitus, tavoitteet ja toteutus	60
5.3.2 Kyselyn tulokset.....	61
5.3.3 Tulosten arviointia.....	64
5.4 Alusliikenteen ohjaus ja liikenteen sujuvuus.....	65
6 VÄYLÄN ALUSLIIKENTEEN POLTTOAINEENKULUTUS, PÄÄSTÖT JA KUSTANNUKSET	67
6.1 Meriliikenteen päästöt	67
6.2 Päästöjen laskentajärjestelmät Suomessa	68
6.3 Väylän polttoaineenkulutus-, päästö- ja kustannuslaskelma	70

6.3.1 Laskennan toteutus	70
6.3.2 Laskennan tulokset ja niiden arviointia	73
7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET	75
LÄHTEET	78
LIITTEET	82

LIITTEET

Liite A.1 Laiva-aaltojen maksimikorkeudet ja periodit väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla aallonkorkeusyhtälöllä arvioituna

Liite A.2 Laiva-aaltojen maksimikorkeudet ja periodit väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla vaimentumisyhtälöllä arvioituna

Liite A.3 Arvioitu luonnonaallokon merkitsevä aallonkorkeus ja huippuperiodi väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla

Liite B.1 Kyselylomake alusten päälliköille (engl.)

Liite B.2 Kyselylomake alusten päälliköille (suom.)

Liite B.3 Kyselylomake luotseille

Liite C.1 Väylän tyyppialusten polttoaineenkulutukset, yksikköpäästöt ja näiden kustannukset eri alusnopeuksilla

Liite C.2 Väylän alusliikenteen polttoaineenkulutus, päästöt ja näiden kustannukset nopeusrajoitusvaihtoehtoilla 1–3

KÄSITTEET JA TERMIT

linjaliikenne	Aikataulunmukaista, säännöllistä rahtiliikennettä ennalta määrättyllä reitillä.
hakurahtiliikenne	Ilman säännöllisiä aikatauluja tai reittejä kulkevaa rahtiliikennettä. Kuljetusreitit ovat riippuvaisia markkinatilanteesta ja vaihtelevat kysynnän ja tarjonnan mukaan.
syöttöliikenne	Rahtiliikennettä, jossa syöttöliikenteen alukset kuljettavat rah-tia pienistä satamista suursatamiin, joissa kuljetukset yhdiste-tään edelleen kuljetettavaksi suurilla valtamerialuksilla kau-kaisempiin kohteisiin.
roro-alus	Rahtialus, joka lastataan aluksen perä-, keula- tai sivuportista pyörillä liikkuvilla kuljetusalustoilla. Roro tulee englannin kie-len sanoista roll on/roll off. Nämä alukset kuljettavat pääsään-töisesti rekkoja ja perävaunuja. Aluksilla voidaan usein kuljet-taa lisäksi pieni määrä kontteja.
ropax-alus	Kuin roro-alus, mutta tässä aluksessa on lisäksi merkittävä määrä matkustajapaikkoja.
konttialus	Rahtialus, jonka lasti on standardoiduissa konteissa. Kontit lastataan alukseen satamanostureilla. Alusten konttikapasiteetti vaihtelee alle 1000 TEU:sta aina 15 000 TEU:iin asti.
konttifeederalus	Syöttöliikenteessä käytetty konttialustyyppi. Konttikapasiteetti vaihtelee tavallisesti noin 500 TEU:sta 1500 TEU:iin.
TEU	Konttiliikenteen perusmittayksikkö. TEU tulee englannin kielen sanoista "twenty-foot equivalent unit". Tarkoittaa ISO-standardinmukaista, 20 jalan (n. 6 m) pituista konttia.
syväys	Aluksen rungon alimman osan suurin pystysuora etäisyys vedenpinnan tasosta.
uppouma	Aluksen kelluessaan syrjäyttämän vesimassan paino tonneina.
DWT (deadweight tonnage)	Aluksen kokoa kuvaava termi. Tarkoittaa aluksen kantavuutta tonneissa ilmaistuna. Aluksen kantavuus kuvaa aluksen lastin, polttoaineen, varusteiden ja henkilöiden suurinta mahdollista yhteispainoa.
drawdown	Liikkuvan aluksen aiheuttama rannalla havaittava vedenpinnan alenema aluksen ohittaessa tarkastelukohteen.
Frouden syvyysluku (F_{NH})	Meritekniikassa yleisesti käytetty vesisyvyyden ja nopeuden vaikutusta aluksen vastukseen kuvaava dimensioton luku.
aluksen nopeuspainuma	Squat-painuma. Aluksen syväyksen lisääntyminen aluksen nopeuden kasvaessa. Tässä ilmiössä alus painuu sitä syvemmälle mitä suuremmalla nopeudella se liikkuu. Painuman suuruuteen vaikuttavat myös mm. vesialueen syvyys ja aluksen runkomuoto.

ADV	Acoustic Doppler velocimeter. Akustinen, ääniaaltojen kulkeutumismoiteen vedessä perustuva virtausmittauslaite.
VTS	Vessel Traffic Service. Alusliikennepalveluista käytetty nimitys.
AIS	Automatic Identification System. Maailmanlaajuisesti käytössä oleva alusten automaattinen tunnistus- ja seurantajärjestelmä. Järjestelmässä alukset ilmoittavat automaattisesti merellä ja satamassa lyhyin väliajoin tunnistetietonsa, sijaintinsa, nopeutensa ja kulkusuuntansa.
solmu	Merenkulkualalla yleisesti käytetty nopeuden yksikkö. Lyhenne on kn tai s. Yksi solmu on noin 1,85 km/h.
merkitsevä aallonkorkeus (Hs)	Luonnonaallokon korkeutta kuvaava termi. Vastaa suurin piirtein kokeneen merenkulkijan arvioimaa keskimääräistä aallonkorkeutta.
sorto	Luonnonaallokon, tuulen tai virtausten synnyttämän, alukseen kohdistuvan voiman aiheuttama poikkeama aluksen kulkusuuntaan.
sortokulma	Aluksen näennäisen liikesuunnan ja todellisen liikesuunnan välinen kulma.
väyläalue	Väylän reunalinjojen rajaama vesialue, jolle väylänpitäjä takaa väylän harausvyvyyden mukaisen vähimmäisvesisyyvyyden.
harausvyvyys	Tietyn vesialueen haraamalla varmistettu vähimmäisvesisyyvyys. Ilmoitetaan metreinä keskivedenpinnan tasosta, esimerkiksi -12,5 m MW/2008.
kulkusyyvyys	Suurin suunniteltu syväys, jolla alus voi normaaliolosuhteissa käyttää väylää. Kulkusyyvyys määritetään vertailutason mukaisesta keskivedenpinnan tasosta.
manoveeraus	Merenkulkualalla käytännön kielessä aluksen ohjailua tarkoittava ilmaisu.

1 JOHDANTO

1.1 Työn taustaa

Kattava satama- ja väyläverkosto on Suomen maantieteellisestä sijainnista johtuen Suomen ulkomaankaupalle elintärkeä. Vuosina 2000–2008 Suomen ulkomaankaupan viennistä keskimäärin noin 71 % ja tuonnista noin 90 % tonnimäärissä mitattuna kuljetettiin meritse. Vastaa- vat prosentuaaliset osuudet olivat kuljetetun tonniston rahallisessa arvossa mitattuna viennin osalta noin 71 % ja tuonnin noin 75 % (Tulli 2000–2008). Suomessa toimi vuonna 2008 lähes 60 satamaa. Niitä palvelevia kauppamerenkulun väyliä on noin 3900 km. Suuri osa Suomen satamista on kuntien ja kaupunkien omistuksessa, mutta maassamme on myös useita yksityisten teollisuusyritysten omistamia ja niiden kuljetuksia palvelevia satamia. (Merenkulkulaitos 2009 a.)

Vuosaaren sataman rakentaminen oli Suomen historian mittavimpia yhdyskuntarakentamisen hankkeita. Uuden sataman rakentamisen tavoitteena oli saada Helsinkiin uusi, nykyaikainen satamakeskus. Aiemmin Helsingin kantakaupungissa hajallaan sijainneet Sörnäisten ja Länsi-sataman tavarakuljetukset haluttiin keskittää yhteen suursatamaan, joka toisi myös lisäkapasiteettia kasvavaan merikuljetusten kysyntään. Lisäksi entiset kantakaupungin satama-alueet haluttiin saada asunto- ja toimitilarakentamisen käyttöön. Vuosaaren sataman rakentaminen aloitettiin vuonna 2003 ja suunnitelmien mukainen satamatoiminta alkoi marraskuussa 2008. (Heikkonen 2008.)

Ennen rakentamista Vuosaaren satamahankkeesta tehtiin Suomen mittakaavassa huomattavan laaja YVA-selvitys. Uusi laki ympäristövaikutusten arvioinnista tuli maassamme voimaan vuonna 1994 ja Vuosaaren satamahanke olikin ensimmäisiä hankkeita, joihin tätä uutta lakisääteistä arviointia sovellettiin. Satamahankkeen YVA:ssa todettiin, että sellaisia satamatoimintojen ja alusliikenteen aiheuttamia vaikutuksia, joita ei voitu tarkemmin arvioida ennen varsinainen satamatoiminnan ja alusliikenteen alkamista, olisi tarpeellista seurata sataman käyttöönoton ja liikenteen alkamisen jälkeen. Tällaisia seurantaa vaativia vaikutuksia olivat YVA:n mukaan alusliikenteen aiheuttamat aallot ja virtaukset satamaan johtavan väylän varrella. (Salmela ja Soimakallio 1996.)

Vuosaaren satamatoiminnan alettua huomattiin, että väylällä kulkevat suuret rahtialukset voivat aallonmuodostuksellaan ja vedenpinnan korkeusvaihteluista synnyttävillä uppoamavirtauksillaan aiheuttaa haittaa väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla ja venesatamissa. Väylästä vastannut silloinen Merenkulkulaitos, nykyinen Liikenneviraston Meriosasto, määräsi osalle väylästä nopeusrajoitukset, joiden tarkoituksena oli vähentää näitä haittavaikutuksia. Nopeusrajoituspäätös aiheutti kuitenkin tyytymättömyyttä niin väylän varrella olevien saarten asukkaissa kuin väylän käyttäjissäkin. Rajoitusten katsottiin olevan toisaalta liian suuria alusten aiheuttamien haittavaikutusten kannalta, mutta toisaalta osalla väylää liian pieniä alusten ohjailukyvyn säilyttämiseksi erityisesti haasteellisissa tuuliolosuhteissa.

Silloinen Merenkulkulaitos lupasi tehdä selvityksen alusten aaltojen ja uppoumavirtausten aiheuttamista haitoista väylän varrella. Tämä selvitys sovittiin toteutettavaksi diplomityötutkimuksena Liikenneviraston Suomenlahden väyläyksikössä. Diplomityössä tarkasteltaisiin alusten aiheuttamien haittavaikutusten lisäksi väylälle määrättyjä nopeusrajoituksia alusten turvallisen ohjailun näkökulmasta. Nopeusrajoituksia olisi mahdollista muuttaa, jos se diplomityön tulosten perusteella katsottaisiin tarpeelliseksi.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tässä diplomityössä tarkastellaan Vuosaaren väylälle asetettuja nopeusrajoituksia alusliikenteen ympäristövaikutusten, liikenteen sujuvuuden ja ohjauksen sekä alusturvallisuuden näkökulmista. Näiden pääteemojen lisäksi työssä arvioidaan nopeusrajoitusten vaikutusta väylän alusliikenteen polttoaineenkulutukseen, päästöihin ja näiden kustannuksiin.

Työn tavoitteet ovat:

- Selvittää Vuosaaren väylän alusliikenteen aallonmuodostuksen ja uppoumavirtausten aiheuttamat ympäristövaikutukset väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla väylän nykyisillä nopeusrajoituksilla. Tavoitteena on myös selvittää, miten nämä vaikutukset riippuvat alusten kulkunopeuksista ja alustyypeistä väylällä.
- Selvittää, ovatko väylän nykyiset nopeusrajoitukset riittävän suuria, jotta alukset voivat liikkua turvallisesti väylällä myös haasteellisissa tuuliolosuhteissa.
- Selvittää, miten väylälle asetetut nopeusrajoitukset vaikuttavat alusliikenteen sujuvuuteen ja alusliikenteen ohjaukseen sekä sataman operointiin.
- Arvioida, kuinka paljon väylälle asetetut nopeusrajoitukset vähentävät alusliikenteen polttoaineenkulutusta ja savukaasupäästöjä sekä polttoainekustannuksia ja päästöjen yhteiskuntataloudellisia kustannuksia vuositasona.

Työssä pyritään myös arvioimaan, miten alusliikenteen aiheuttamat ympäristövaikutukset, alusliikenteen turvallisuus, sujuvuus sekä polttoaineenkulutus ja päästöt muuttuvat tilanteissa, joissa väylän nopeusrajoituksia nostetaan tai lasketaan nykyisistä. Tavoitteena on löytää väylälle optimaalinen nopeusrajoitus, jolla alusliikenne olisi turvallista, sujuvaa ja aiheuttaisi mahdollisimman vähän ympäristöön kohdistuvia haittavaikutuksia.

Työ rajataan koskemaan vain Vuosaaren väylää. Työn tuloksia voitaneen silti käyttää jatkossa myös muiden kauppamerenkulun väylien kehittämishankkeiden ympäristövaikutuksia arvioitaessa. Väylien kehittämishankkeet voivat tähdätä esimerkiksi väylän syventämiseen tai väylälinjauksen muuttamiseen. Vuosaaren väylän kaltaisia merkittäviä uusia kauppamerenkulun väyliä ei Suomessa ainakaan lähitulevaisuudessa olla rakentamassa.

Työssä keskitytään alusliikenteen aallonmuodostuksen ja uppoumavirtausten aiheuttamien ympäristövaikutusten osalta vesien käyttöön kohdistuviin vaikutuksiin. Vesien käyttöön kohdistuvat vaikutukset voivat aiheuttaa haittaa esimerkiksi venelaitureiden ja -satamien käytölle tai ranta-alueiden virkistyskäytölle. Muita Vuosaaren sataman ja väylän alusliikenteen ympäristövaikutuksia on tutkittu hyvin monipuolisesti niin sataman rakentamisen aikana kuin sen käyttöönoton jälkeenkin erilaisissa seurantatutkimuksissa. Näitä ovat esimerkiksi vesistön ja kalatalouden, linnuston ja kasvillisuuden sekä pohja- ja pintavesien seurannat (Heikkonen 2008).

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tässä työssä käytettävät tutkimusmenetelmät ovat:

- kirjallisuusselvitys
- maastotutkimukset
- kyselyt.

Kirjallisuusselvityksessä pyritään etsimään teoreettista pohjaa tutkittaville ilmiöille. Keskeisimpänä teemana ovat alusten aiheuttamat aallot ja virtaukset saaristo-olosuhteissa sekä alusnopeuksien rooli niiden synnyssä.

Maastotutkimuksissa mitataan Vuosaaren väylällä liikkuvien rahtialusten aiheuttamia aaltoja, virtauksia ja vedenpinnan korkeusvaihteluja väylän varrella sijaitsevien saarten rantojen tuntumassa. Maastotutkimusten tavoitteena on selvittää laiva-aaltojen, virtausten ja vedenpinnan korkeusvaihteluiden suuruusluokkaa sekä arvioida niiden vesien käyttöön kohdistuvia haittavaikutuksia. Tavoitteena on myös selvittää, miten alusten aiheuttamat haittavaikutukset ovat riippuvaisia alustyyppistä ja -nopeudesta.

Kyselyjen tavoitteena on selvittää väylällä operoivien luotsien ja alusten päälliköiden näkemykset väylällä tarvittavista alusten vähimmäisnopeuksista, joilla väylällä operointi on vielä turvallista kaikissa tavanomaisissa tuuliolosuhteissa. Tavanomaisilla tuuliolosuhteilla tarkoitetaan tässä sellaisia olosuhteita, joissa satamaliikenne toimii normaalisti, eikä liikennettä jouduta väylällä katkaisemaan esimerkiksi voimakkaan myrskyn vuoksi. Kysely toteutetaan sähköpostitse MS Word-muotoisilla kyselylomakkeilla.

Väylän alusliikenteen polttoaineenkulutusta ja savukaasupäästöjä sekä näiden kustannuksia vuositason arvioidaan meriliikenteen päästöjen laskemiseksi kehitetyllä MERIMA-päästömallilla. Tavoitteena on saada käsitys siitä, kuinka paljon väylän alusliikenteen kokonaispolttoaineenkulutus, -päästöt ja näiden kustannukset muuttuvat vuositason arvioiden mukaan, jos väylän nykyisiä nopeusrajoituksia nostetaan tai lasketaan.

2 VUOSAAREN SATAMA, MERIVÄYLÄ JA ALUSLIIKENNE

2.1 Vuosaaren satama

Vuosaaren satama (kuva 1) on osa Helsingin Satamaa. Vuosaarella sijaitsee suurin osa Helsingin Sataman tavarakuljetustoiminnoista. Helsingin Satama on Suomen suurin kontttisatama ja tonnimäärissä mitattuna toiseksi suurin satama Sköldvikin öljysataman jälkeen. Vuonna 2009 Helsingin Sataman ulkomaan tavarakuljetukset olivat noin 9,7 miljoonaa tonnia, josta viennin osuus oli 57 % ja tuonnin 43 %. Kontteja kuljetettiin sataman kautta noin 360 000 TEU:a, joista 51 % oli tuontia ja 49 % vientiä. (Merenkululaitos 2009 b.)

Vuosaaren satama palvelee tällä hetkellä pääosin kontti-, roro-, ja ropax-alusliikennettä. Alusliikenne on sekä säännöllistä, aikataulujen mukaista linjaliikennettä että säännöllisten aikataulujen ulkopuolista hakurahtiliikennettä. Linjaliikenneyhteyksiä roro- ja ropax-aluksilla on tarjolla ainakin Ruotsiin, Viroon, Tanskaan, Manner-Eurooppaan, Brittein saarille ja Venäjälle. Konttikuljetukset suuntautuvat koko Itämeren alueelle aina Pohjanmerelle saakka. (Helsingin satama 2010.)

Vuosaaren satamassa operoivista alustyypeistä enemmistönä ovat roro- ja ropax-alukset; konttialuksia alusliikenteestä on noin kolmannes (Noroviita 2009). Satamassa on noin 20 laivapaikkaa. Vuonna 2009 satamassa kävi yhteensä noin 3100 alusta, mikä vastaa keskimäärin 8–9 aluskäyntiä päivässä (Helsingin satama 2010). Hyvin maltillisen ennusteen mukaan vuonna 2020 aluskäyntejä olisi vuodessa noin 4000, mikä tarkoittaisi keskimäärin 11 alusta päivässä (Noroviita 2009).



Kuva 1. Vuosaaren satama (Lähde: Vuosaaren satamahankkeen kuvapankki)

Vuosaaren satamassa käyvät alukset voidaan karkeasti jakaa alustyypeittäin seuraavasti:

- ropax-alukset, pituus yli 200 m (kuva 2)
- roro-alukset, pituus 130–200 m (kuva 3)
- alle 1300 TEU:n konttialukset, pituus yli 200 m (kuva 4)
- alle 1000 TEU:n konttialukset, pituus 130–170 m (kuva 5)

Roro- ja ropax-aluksia satamassa käy useita päivässä, mutta lastikapasiteetiltaan yli 1000 TEU:n konttialuksia harvemmin. Satamassa käyvistä konttialuksista tyypillisimpiä ovat maksimissaan noin 1000 TEU:n syöttöliikenteen konttifeederalukset. Itämeren syöttöliikenteessä kontit laivataan Euroopan suursatamien konttikeskukseen, joista suuret valtamerikonttialukset

kuljettavat ne kaukaisempiin kohteisiin. (Helsingin satama 2010) Taulukossa 1 on esitetty eräitä teknisiä tietoja Vuosaaren satamassa tyypillisimmin operoivista aluksista.

Taulukko 1. Teknisiä tietoja Vuosaaren satamassa tyypillisimmin operoivista aluksista (Lähteet: Suomen kuvitettu laivaluettelo 2009, www.marinetraffic.com, www.wikipedia.com)

Alustyyppi	Pituus	Leveys	Max.Syväys	Vetoisuus (GT/NT)	Kantavuus (DWT)	Lastinottokyky (kaista m / TEU)
<i>Ropax-alukset</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>t</i>	<i>t</i>	
Europalink	218,8	30,5	7,0	45 923 / 24 006	9653	4216 m
Superfast VII	203,3	25,4	6,6	30285 / -	5915	1891 m
<i>Roro-alukset</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>t</i>	<i>t</i>	
Finnpulp	187,1	26,5	6,9	25654 / 7696	11746	2681 m
Birka Trader	154,5	22,7	7,0	12 251 / 3 676	8 853	1775 m
<i>Konttialukset</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>t</i>	<i>t</i>	
MSC Eyra	203,1	25,5	9,8	17 720 / 8 828	21 370	1254 TEU
Containership VI	154,5	21,8	8,9	9 953 / 5 284	13 645	966 TEU
Aila	141,2	21,3	8,6	9 131 / 4 205	11 487	907 TEU



Kuva 2. Ropax-alus Europalink



Kuva 3. Roro-alus Birka Trader



Kuva 4. Konttialus MSC Eyra



Kuva 5. Konttialus Containership VI

(Kuvien 2–5 lähteet: www.marinetraffic.com)

2.2 Meriväylä

Satamaan johtavan meriväylän (kuva 6) suunnittelussa tutkittiin kolmea eri linjausvaihtoehtoa, joista toteutettiin kallein, mutta kokonaisuuden kannalta paras niin sanottu Itä-Tontun linjaus. Väylän rakentamistöissä tehtiin mittavia ruoppaus- ja louhintatöitä, jotka kaikki sijoituivat väylän sisäosalle sataman puoleiseen päähän. Väylä alkaa ulkomerellä Helsingin majakalta ja kulkee Itä-Toukin, Kuiva Hevosen, Musta Hevosen ja Krokholmenin saarten länsipuolelta Pikku-Niinisaaressa ja Mölandetin välisen kapean salmen kautta satamaan. Väylän kokonaispituus on 32 km. Väylän leveys vaihtelee välillä 200–2000 m. Väylän mitoitusaluksena on käytetty 11 metrin syvyyksellä kulkevaa, 230 m pitkää ja 33 m leveää valtameriliikenteen konttialusta. (Heikkonen 2008.) Väylä on alkuosaltaan kaksikaistainen, mutta satamaan päin mentäessä Eestiluodon jälkeen väylä muuttuu yksikaistaiseksi. Noin 8 km pitkän yksikaistaisen osuuden keskivaiheilla on alusten kohtaamis- ja odotusalue.



Kuva 6. Vuosaaren 11 m:n meriväylä (Lähde: Vuosaaren satamahankkeen kuvapankki)

Väylän varrella olevat saaret

Itä- ja Länsitoukin luodot ovat ulkosaariston uloimmassa osassa sijaitsevia kallioluotoja ennen Eestiluodon saariryhmää. Luodoilla ei ole asutusta, vaan niitä käyttävät lähinnä vapaa-ajan veneilijät kesäaikana. Lyhyin etäisyys Itätoukista Vuosaaren väylän keskilinjalle on noin 300 m ja Länsitoukista noin 2 km.

Eestiluoto sijaitsee ulkosaaristossa Vuosaaren väylän keskivaiheilla. Eestiluodon pääsaaren lisäksi saariryhmään kuuluu pienempiä saaria. Saariryhmän rannat ovat pääosin kalliorantoja. Väylän puoleisilla rannoilla ei ole merkittäviä venesatamia tai -laitureita. Saariryhmä on Helsingin kaupungin omistuksessa, mutta saarilla on myös yksityistä vapaa-ajan asutusta. Pääsaaren pohjoisosassa on luonnonsuojelualue. Lyhyin etäisyys Vuosaaren väylän keskilinjalle on saariryhmän läntisimmän saaren, Granlandetin, länsirannalta mitattuna noin 500 m.

Kuiva Hevonen on yksityisen kiinteistösaakeyhtiön omistuksessa oleva saari, joka sijaitsee noin 3 km Eestiluodosta pohjoiseen. Saaressa on lähinnä vapaa-ajan asutusta; vapaa-ajan asumiseen tarkoitettuja rakennuksia on noin 130. Saaren luoteisosa on luonnonsuojelu- ja virkistysaluetta. Saaren pienvenesatamat sijaitsevat saaren eteläpuolella, pohjoisrannalla on veneiden kiinnittämiseen tarkoitettuja poijupaikkoja sekä kauppalaituri, jota saariston kauppalaiva käyttää kesäaikana. Lyhyin etäisyys saaren länsipuolelta Vuosaaren väylälle on alle 300 m. Saaren pohjoispuolella kulkee myös Etelä-Suomen talviväylä, jonka kulkusyvyyden on 9,0 m.

Musta Hevonen sijaitsee noin 2 km Kuiva Hevosesta pohjoiseen. Saaren maa-alueet ovat yksityisomistuksessa. Saaressa on lähinnä vapaa-ajan asutusta. Ranta-alueilla on mökkirantoja ja venelaitureita. Lyhyin etäisyys saaren länsirannalta Vuosaaren väylälle on noin 900 m.

Krokholmen sijaitsee Vuosaaren väylän loppupäässä, noin 3 km Kuiva Hevosesta pohjoiseen. Saaren eteläosa on yksityisomistuksessa ja pohjoisosa on Vantaan kaupungin ulkoilu- ja virkistysaluetta. Saaressa on lähinnä vapaa-ajan asutusta. Eteläosan rannoilla on yksityisiä mökkirantoja ja venelaitureita, pohjoisosan rannoilla taas Vantaan kaupungin ulkoilualueen käyttäjille tarkoitettuja veneenkiinnityspaikkoja. Lyhyin etäisyys saaren länsirannalta Vuosaaren väylälle on noin 300 m.

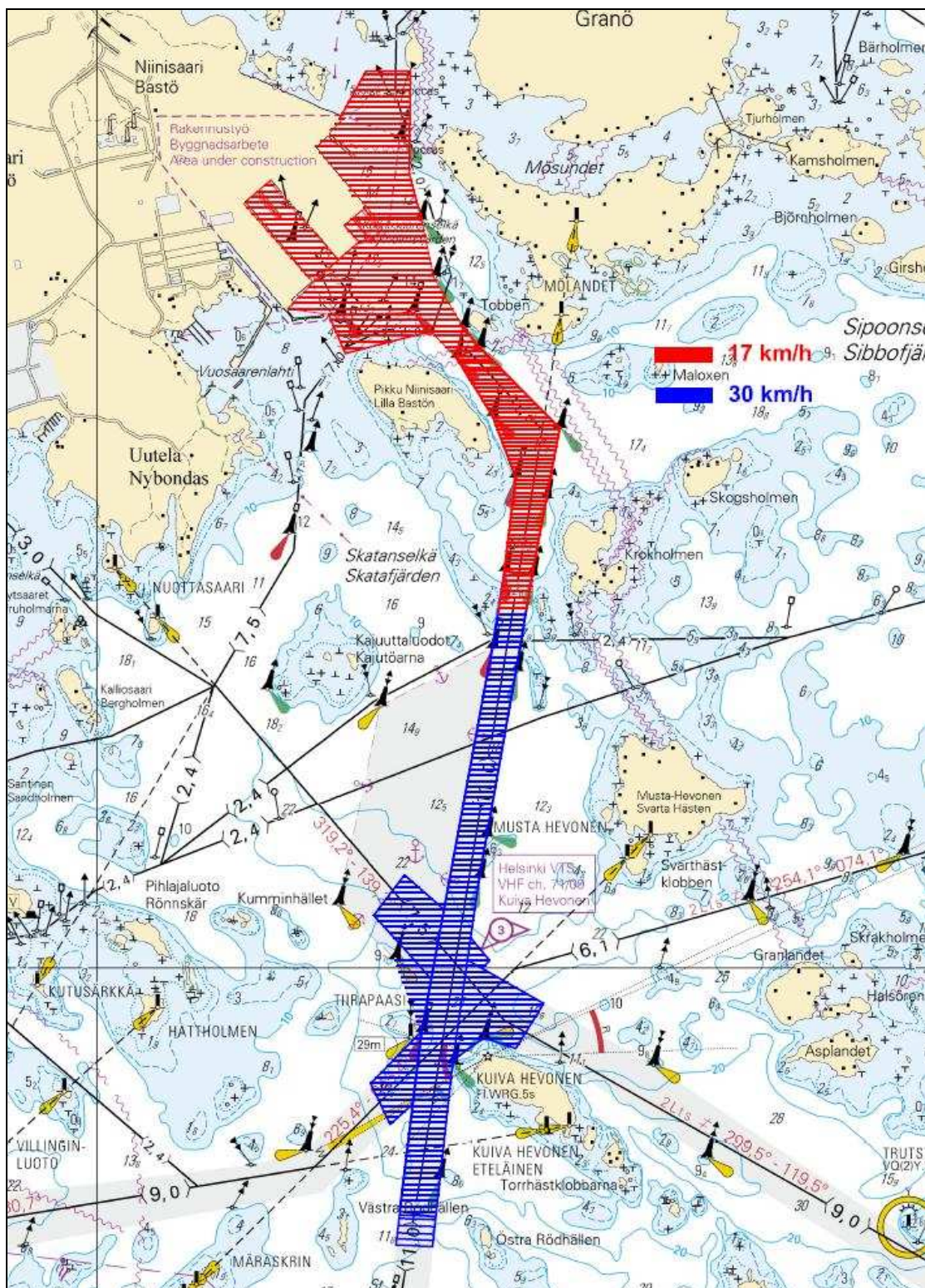
Pikku-Niinisaari sijaitsee vastapäätä Vuosaaren satamaa satama-alueen välittömässä läheisyydessä. Osa saaresta on yksityisessä ja osa Helsingin kaupungin omistuksessa. Alue on yleiskaavassa määritelty virkistys- ja loma-asumisalueeksi. Saaren ranta-alueilla on mökkirantoja ja venelaitureita ja saaren eteläosassa luonnonsuojelualue. Lyhyin etäisyys saaren itäpuolelta Vuosaaren väylälle on noin 250 m.

Mölandet sijaitsee satama-alueen välittömässä läheisyydessä. Saaressa on lähinnä yksityistä vapaa-ajan asutusta ja rakennuskanta on ranta-alueilla tiheää. Saaren eteläpuolella on luonnonsuojelualue. Lyhyin etäisyys saaren eteläkärjestä Vuosaaren väylälle on noin 400 m.

Väylän nykyiset nopeusrajoitukset

Vuosaaren väylän nykyisistä nopeusrajoituksista 30 km/h (n. 16 solmua) rajoitusosuus alkaa sisään satamaan ajettaessa Kuiva Hevosen edustalla olevan Östra Rödhällenin luodon kohdalta ja jatkuu aina Krokholmenin edustalle saakka. Kuiva Hevosen edustalla 30 km/h rajoitus koskee myös Vuosaaren väylän, Etelä-Suomen talviväylän ja Vuosaaren telakan väylän risteysaluetta. Krokholmenin edustalta satamaan saakka väylän nopeusrajoitus on 17 km/h (n. 9 solmua). Väylän nykyiset nopeusrajoitukset on esitetty merikartalla kuvassa 7. Kuvassa esitetty 17 km/h rajoitusalue koskee myös koko satama-aluetta ja alueen poikki kulkevaa veneväylää. Tässä työs-

sä käsitellään ainoastaan Vuosaaren väylän nopeusrajoituksia eikä satama-alueen tai veneväylän nopeusrajoituksiin oteta kantaa.



Kuva 7. Vuosaaren väylän nykyiset nopeusrajoitusalueet

2.3 Väyläliikenteeseen liittyvät osapuolet

Väyläviranomainen

Meri- ja sisävesiliikennettä hallinnoi Suomessa Liikenne- ja viestintäministeriön alaisuudessa toimivat Liikennevirasto ja liikenteen turvallisuusvirasto TraFi. Näihin siirrettiin entisen Merenkululaitoksen toiminnot sisäistä tuotantoa lukuun ottamatta valtion liikennehallinnon virastouudistuksessa vuoden 2010 alussa. Liikennevirasto vastaa vesiväylien ylläpidosta ja kehittämisestä, merikartoituksesta, meriliikenteen ohjauksesta ja alusliikennepalveluista sekä talvimerenkulusta. Turvallisuusvirasto TraFi vastaa vesiliikenteen alusturvallisuudesta, alusten ja satamarakenteiden turvatoimista sekä luotsauksen viranomaistehtävistä.

Suomen satamien tuloväylät on perinteisesti rakennettu valtion kustannuksella muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Valtiollinen väylänpidon viranomainen vastaa sataman tuloväylästä ja sen ylläpidosta ennalta määrätylle vastuurajalle saakka. Satama-alueen raja on käytännössä usein lähtökohtana vastuurajan määrittämiselle, mutta ei ole kuitenkaan suoraan sidoksissa siihen. Väylänpitäjän ja sataman vastualueet voidaan myös määrittää tapauskohtaisesti erikseen. Esimerkiksi valtion ylläpitämä veneväylä voi kulkea satama-alueen läpi, jolloin valtion väyläviranomainen vastaa väylän ylläpidosta, vaikka se onkin satama-alueella. (Merenkululaitos 2009 c.)

Valtiollisen väylänpitoviranomaisen oikeuksista ja velvollisuuksista määrätään muun muassa vesiliikennelaissa (463/1996), vesiliikenneasetuksessa (124/1997) ja vesilaissa (264/1961). Vesiliikennelain 4. luvun, 15 § ja 16 §:n perusteella väyläviranomaisella on oikeus määrätä väyläalueilla vesiliikennettä koskevia kieltoja ja rajoituksia. Tällaisia ovat esimerkiksi nopeusrajoitukset, joilla pyritään ehkäisemään vesiliikenteen aiheuttamia ympäristöhaittoja. Kauppamerenkulun väylille nopeusrajoituksia asettaessa tulee pyrkiä löytämään alusliikenteen ja ympäristön kannalta sopivin rajoitus. Tällöin on otettava huomioon alusliikenteen aiheuttamien ympäristövaikutusten lisäksi sellaiset tekijät, joilla saattaa olla vaikutusta alusten turvalliseen liikkumiseen väylällä. (Liikennevirasto 2010.)

Alukset tarvitsevat tietyn vähimmäisnopeuden, jotta ne voivat säilyttää ohjailukykyänsä väylällä liikkuessaan. Tämä vähimmäisnopeus riippuu muun muassa aluksen yksilöllisistä ominaisuuksista, väylän ominaisuuksista sekä tuuli- ja virtausolosuhteista. Väylälle ei saa määrätä niin alhaisia nopeusrajoituksia, että alusten liikkuminen väylällä vaarantuu. Kovin alhaisia nopeusrajoituksia ei tulisi myöskään määrätä kuin lyhyille väyläosuuksille. Nopeusrajoitusten tulisi myös olla mahdollisimman yhdenmukaisia siten, että käytettäisiin vain muutamia selkeitä nopeusarvoja. (Liikennevirasto 2010.) Käytännössä kauppamerenkulun väylillä asetetut nopeusrajoitukset vaihtelevat kuitenkin hyvin tapauskohtaisesti. Helsingin edustalla Länsisatamaan ja Eteläsatamaan johtaville pääväylille sekä Vuosaaren väylälle on määrätty 30 km/h rajoitusosuuksia, kun taas esimerkiksi Naantalın ja Turun satamiin johtavilla pääväylillä nopeusrajoitusosuudet ovat 28/22 km/h ja 16/11 km/h.

Jos väylän alusliikenne aiheuttaa haittavaikutuksia, joita ei voida alusturvallisuuden ja liikenteen sujuvuuden nimissä nopeusrajoituksia määräämällä tai niitä alentamalla vähentää, voi julkisen kulkuväylän yleisestä käytöstä aiheutuva vahinko tai edunmenetys kuulua vesilain 4. luvun 8 §:n (264/1961) perusteella väylänpitäjän korvattavaksi. Väylänpitäjä on vastuussa väylästä ja siten myös korvausvelvollinen, mikäli korvausmenettelyyn päädytään. Korvausperusteet ja korvaukset on yleensä määritetty väylän perustamista koskevan vesilupapäätöksen yhteydessä (Merenkululaitos 2009 c). Riita- ja korvausasiat ratkaistaan hallinto-oikeudessa tai edelleen korkeimmassa hallinto-oikeudessa. Tilanteessa, jossa aiheutettu vahinko voidaan kohdentaa tietyn aluksen aiheuttamaksi, on aluksen omistaja tällöin vesilain 1. luvun 25 §:n (264/1961) perusteella korvausvelvollinen.

Alusliikenteen ohjaus

Alusliikennepalveluista Suomen vesialueilla vastaavat Liikenneviraston liikenteenohjausyksikön alaiset meriliikenteen ohjauskeskukset, joita kutsutaan VTS-keskuksiksi (VTS=vessel traffic service). Alusliikennepalveluiden tarkoituksena on parantaa alusliikenteen turvallisuutta, edistää sen sujuvuutta ja tehokkuutta sekä ennaltaehkäistä onnettomuuksia ja niistä mahdollisesti aiheutuvia ympäristöhaittoja. Suomen vesialueella toimii viisi VTS-keskusta, jotka vastaavat alusliikennepalveluista vastuualueillaan. Vuosaaren väylän alusliikenteestä vastaa Suomenlahden meriliikennekeskuksen Helsinki VTS.

VTS-keskuksissa alusliikenneohjaajat seuraavat alueensa alusliikennettä ja ylläpitävät reaaliaikaista liikennetilannekuvaa erilaisten informaatiojärjestelmien avulla. Alueella liikkuville aluksille annetaan liikennöinnin kannalta olennaista tietoa, jota on esimerkiksi tieto muista väylän käyttäjistä, turvalaitteiden ja väylien kunnosta ja niiden käytettävyydestä sekä vedenkorkeus- ja sääolosuhteista. Alusliikenneohjaajat antavat aluksille lähtöluvat satamasta ja ohjaavat väylän liikennettä porrastaen alusten saapumisia ja lähtöjä. Aluksille voidaan tarvittaessa antaa myös navigointiapua.

Alusliikennepalveluista Suomessa säädetään alusliikennepalvelulaissa (623/2005) ja valtioneuvoston asetuksessa (763/2005). Näissä säädetään muun muassa alusliikennepalveluiden perustamisesta, sisällöstä, VTS-viranomaisen toimivallasta ja velvollisuuksista sekä alusten päälliköiden velvollisuuksista. VTS-viranomaisella on alusliikennepalvelulain 2. luvun 7 §:n (623/2005) perusteella oikeus asettaa väylälle tarpeen vaatiessa esimerkiksi väliaikaisia kohtaamis- ja ohittamiskieltoja tai nopeusrajoituksia.

Satama

Satama vastaa satamatoiminnasta satama-alueella ennalta määrätyle vastuurajalle saakka. Satama-alueeseen kuuluu maa-alueiden ja laitureiden lisäksi sataman vesialue satamaltaiseen ja sataman sisäistä liikennettä palvelevine väylineen. Sataman toimintaa ohjaa satamajärjestys, jossa on tarpeelliset määräykset sataman käyttämisestä ja satama-alueella noudatettavasta järjestyksestä. Satamajärjestyksessä on osoitettu myös satama-alueen raja. (Merenkulkulaitos 2009 c.) Laki kunnallisista satamajärjestyksistä ja liikennemaksuista (955/1976) velvoittaa, että jokaisella satamalla tulee olla hyväksytty ja voimassaoleva satamajärjestys (Luhtanen 2009). Vuosaaren sataman toimintaa ohjaa Helsingin kaupungin satamajärjestys.

Alukset

Meriliikenne on luonteeltaan hyvin kansainvälistä, mutta Suomen vesialueella liikkuvan aluksen tulee noudattaa Suomen lainsäädäntöä niiltä osin, kuin laissa ja asetuksissa on säädetty. Suomi on sitoutunut moniin kansainvälisiin merenkulun sopimuksiin ja sitoutunut kehittämään lainsäädäntöään sopimuksia vastaavaksi. Aluksia ja alusten toimintaa, alusten päälliköitä ja varustamoita koskevia lakeja ja asetuksia ovat esimerkiksi merilaki (674/1994), vesiliikennelaki (463/1996) ja -asetus (124/1997) sekä alusliikennepalvelulaki (623/2005).

Merilain 6. luvun 10 §:n (674/1994) perusteella aluksen päällikön tulee hankkia tietoja voimassa olevista määräyksistä ja ohjeista niissä paikoissa, joissa alus käy. Alusliikennepalvelulain 6. luvun 21 § ja 22 § (623/2005) velvoittavat määrättyt kriteerit täyttävän aluksen päällikön huolehtimaan siitä, että alus ilmoittautuu VTS-viranomaiselle VTS-alueella tietyissä pisteissä ja noudattaa niitä säädöksiä ja määräyksiä, joita kyseiselle alueelle on asetettu. Alusten tulee esimerkiksi noudattaa väylä- tai VTS-viranomaisen määrittämiä nopeusrajoituksia ja pyydettyä VTS:ltä lähtölupa satamasta tai ankkurointipaikalta irrotettaessa.

3 ALUSTEN AIHEUTTAMAT AALLOT JA VIRTAUKSET JA NIIDEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

3.1 Taustaa

Kyetäkseen etenemään alus joutuu painamaan vettä alleen ja sivuilleen. Liikkuva alus siirtää suurimman osan liike-energiastaan ympäröivään veteen, jolloin vesimassa alkaa liikehtiä aluksen ympärillä eri suuntiin. Alusten muodostamat aaltosysteemit ja virtaukset ovat aluksen liikkuessaan syrjäyttämän vesimassan liikettä.

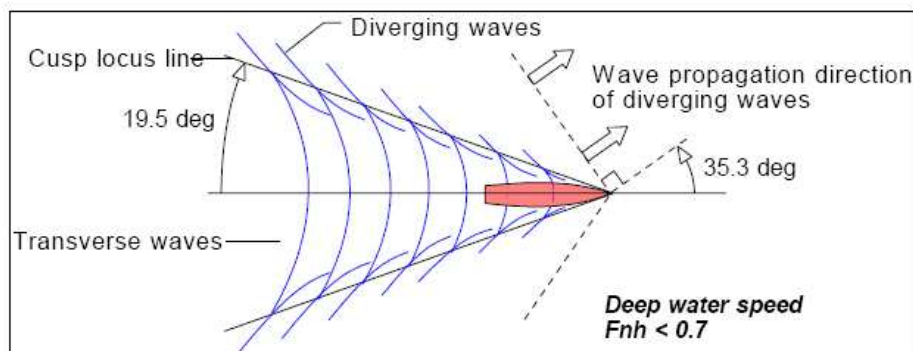
Alusten aiheuttamilla aalloilla ja virtauksilla saaristossa on moninaisia ympäristövaikutuksia, jotka voivat kohdistua saaristoympäristön ekologiaan, morfologiaan tai vesien käyttöön (Madekivi 1995). Tässä esityksessä keskitytään vesien käyttöön kohdistuviin ympäristövaikutuksiin. Alusliikenteen vaikutukset korostuvat usein luonnon aallokelta suojassa olevilla kapeilla saaristoväylillä, joilla suuret alukset ohittavat lähietäisyydeltä väylän varrella sijaitsevat, matalan vesialueen ympäröivät saaret (Rytkönen et al. 2002).

3.2 Laiva-aallot

3.2.1 Alusten aallonmuodostuksen teoria

Veden pinnassa kulkevan kappaleen aallonmuodostusta voidaan kuvata painevaihteluina, jotka vaikuttavat painejakautumaan kappaleen pinnalla. Aluksen keulaan ja perään muodostuvaa nettovoimaa kutsutaan aallonmuodostusvastukseksi. Aluksen kokonaisvastus muodostuu aallonmuodostusvastuksesta, veden viskoosisesta kitkavastuksesta ja pyörrevastuksesta. Pyörrevastus syntyy aluksen liikkuessaan jättämän vanaveden vastuksesta. Aluksen liikettä vastustaa myös ilmanvastus, jota ei käsitellä tässä yhteydessä. Aallonmuodostus- ja pyörrevastus muodostavat yhdessä aluksen jäännösvastuksen. (Allenström et al. 2003, Rytkönen et al. 2002.)

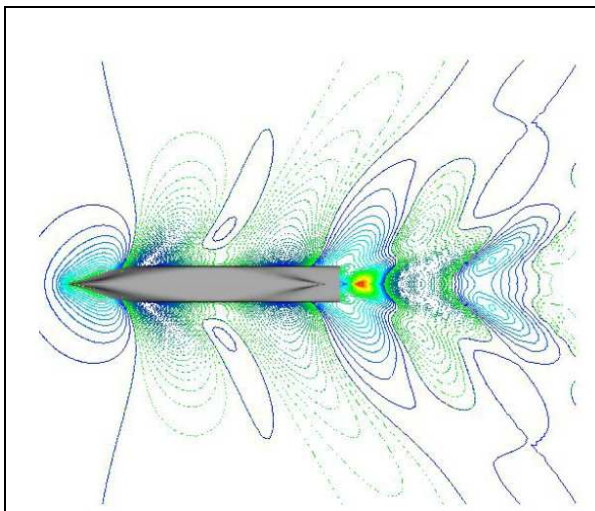
Aluksen aiheuttamaa aaltosysteemiä voidaan kuvata yksinkertaisimmillaan Kelvinin 1800-luvulla kehittämän aaltoteorian avulla. Aaltoteorian mukaan alusta voidaan pitää yksittäisenä painepisteenä, joka aiheuttaa aaltoja kulkiessaan veden pinnalla. Teorian mukaan aaltoja muodostuu kahdenlaisia: aluksen taakse muodostuvia, kulkusuuntaan nähden poikittaisia aaltoja (transverse waves) ja aluksesta eroavia aaltoja (diverging waves). Aluksesta eroavat aallot muodostavat noin $35,3^\circ$ kulman aluksen liikesuunnan kanssa. Poikittaisten ja eroavien aaltojen aallonharjat kohtaavat suoralla (cusp locus line), joka muodostaa noin $19,5^\circ$ kulman aluksen liikesuunnan kanssa (kuva 8). (Allenström et al. 2003.)



Kuva 8. Aaltojen muodostuminen syvässä vedessä Kelvinin aaltoteorian mukaan (Allenström et al. 2003)

Aluksen aiheuttamalla poikittaisella aaltorintamalla on sama nopeus kuin aluksella. Myös eroavan aaltorintaman nopeuskomponentilla, joka on aluksen liikesuunnan kanssa yhdensuuntainen, on tämä sama nopeus. Todellisuudessa aluksen aallonmuodostusta ei voida täysin selittää Kelvinin teorialla, sillä aluksen voidaan ajatella koostuvan useammasta kuin yhdestä aaltolähteestä. Liikkuva alus muodostaa aaltoja keula- ja peräosan lisäksi myös rungolla. (Allenström et al. 2003, Rytönen et al. 2002.)

Kuvassa 9 on esitetty ropax-tyyppisen aluksen laskettu aaltokuvio, joka kuvaa aluksen todellista aallonmuodostusta. Runkoaaltojen muodostumista voidaan vähentää keulan muotoilulla. Suurissa aluksissa käytetään usein eräänlaista keulauluketta, niin sanottua bulbia, jonka vaikutuksesta aluksen runkoaaltojen muodostus vähenee, mikä taas pienentää aluksen kokonaisvastusta. Aluksen muodostamat erilaiset aaltosysteemit voivat interferoida keskenään ja näin joko vahvistaa tai heikentää toisiaan. Bulbin toiminta perustuu sen muodostaman keula-aaltosysteemin interferoimiseen runkoaaltosysteemin kanssa, jolloin aluksen kokonaisvastus pienenee. (Matusiak 2010.)



Kuva 9. Nopean, ropax-tyyppisen aluksen laskettu aaltokuvio (Matusiak 2010)

Aluksen aallonmuodostusvastukseen ja sitä kautta aallonmuodostukseen vaikuttavat runkomuodon lisäksi aluksen pituus, nopeus ja syväys. Aluksen nopeuden ja pituuden vaikutusta aluksen aallonmuodostukseen karakterisoi niin sanottu Frouden pituusluku (F_{NL}) (Rytönen et al. 2002)

$$F_{NL} = V / \sqrt{gL} \quad (1)$$

jossa

- V = aluksen nopeus (m/s)
- g = putoamiskiihtyvyys (9.81 m/s²)
- L = aluksen vesilinjan pituus (m).

Syvässä vedessä muodostuvan aallon aallonpituus on aluksen nopeuden funktio. Mitä suurempi aluksen nopeus on, sitä suurempi on aallonpituus. Aluksen aallonmuodostus on suurimmillaan, kun alus liikkuu nopeudella, jolla muodostuvan aluksen liikesuuntaa vastaan kohtisuoran aallon pituus on lähellä aluksen vesilinjan pituutta. Tätä nopeutta kutsutaan runkonopeudeksi. Runkonopeus saavutetaan tavanomaisilla uppoamarunkoisilla aluksilla yleensä F_{NL} :n arvoilla 0,4–0,6, mikä vastaisi kaavan 1 mukaan esimerkiksi 150 m pituisella aluksella 30–45 solmun nopeutta. Yleisesti aluksen kokonaisvastus kasvaa F_{NL} :n kasvaessa. Poikkeuksena ovat nopeat

katamaraanityyppiset, niin sanotut plaanaavat alukset, jotka ”liukuvat” veden pinnalla. (Aage et al. 2003, Rytkönen et al. 2002.)

Aluksen syväys tarkoittaa aluksen rungon alaosan suurinta pystysuoraa etäisyyttä vedenpinnan tasosta. Syväys ei ole vakio, vaan se vaihtelee muun muassa aluksen lastin painon, trimmikulman, veden suolapitoisuuden tai veden lämpötilan muuttuessa. Myös aluksen kulkunopeus vaikuttaa aluksen syvyyteen aluksen nopeuspainuman (squat) kautta. Tätä ilmiötä käsitellään myöhemmin. Aluksen uppouma tarkoittaa kelluvan aluksen syrjäyttämän vesimassan painoa. Uppouman suuruuteen vaikuttavat aluksen rungon muoto, pituus, leveys ja syväys. Aluksen aallonmuodostus ei ole suoraan yhteydessä aluksen uppoumaan. Laiva-alan kehityksen myötä on todettu, että esimerkiksi vanhemman sukupolven autolauttojen aallonmuodostus oli nykyäikaisia autolauttoja suurempaa, vaikka nykyaikaiset alukset ovat useassa tapauksessa kokoluokaltaan entisiä aluksia suurempia (Rytkönen et al. 2002).

3.2.2 Aallonmuodostus matalassa vedessä

Edellä esitetty, Kelvinin aaltoteoriaan perustuva alusten aiheuttama aaltosysteemi pätee vain aluksen liikkeessä syvässä vedessä. Matalassa vedessä aluksen aallonmuodostus poikkeaa siitä merkittävästi. Matalan veden tilannetta karakterisoi alalla hyvin yleisesti käytetty niin sanottu Frouden syvyysluku (F_{NH}) (Rytkönen et al. 2002)

$$F_{NH} = V / \sqrt{gh} \quad (2)$$

jossa

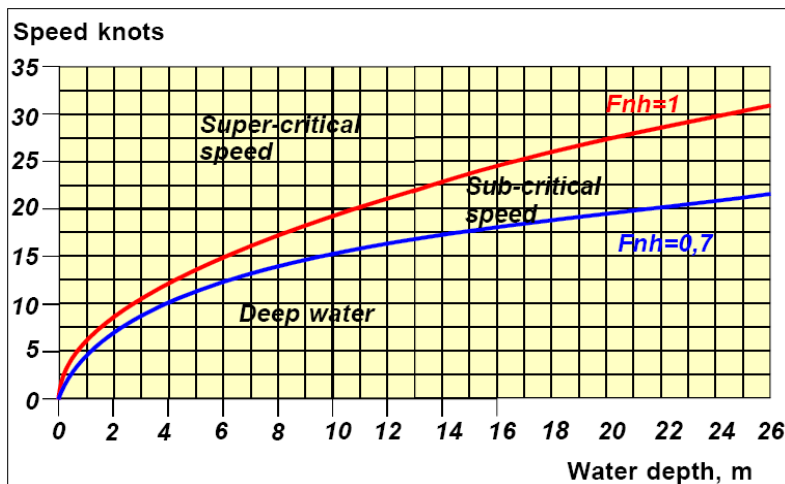
V = aluksen nopeus (m/s)

g = putoamiskiihtyvyys (9.81 m/s²)

h = vesisyvyys (m).

Aluksen nopeuden kasvaessa ja vesisyvyyden pientyessä pohjan kitka alkaa vaikuttaa aluksen aallonmuodostukseen. Tällöin aallon korkeus kasvaa, pituus lyhenee ja aaltorintaman eroamiskulma suhteessa alukseen muuttuu. Kun Frouden syvyysluku $F_{NH} < \approx 0,7$ alus liikkuu vielä syvän veden nopeudella (deep-water speed) eivätkä syntyvät aallot tavoita pohjaa. Eroavan aaltorintaman eroamiskulma aluksen liikesuunnan kanssa on vakio, noin 35,3°. Frouden syvyysluvun lähestyessä arvoa 0,7 pohjan kitka alkaa vaikuttaa aaltojen ominaisuuksiin. Kun $0,7 < F_{NH} < 1,0$ aluksen sanotaan liikkuvan sub-kriittisellä nopeudella (sub-critical speed). Kun $F_{NH} = 1,0$ alus liikkuu kriittisellä nopeudella (critical speed). Tällöin poikittainen aaltorintama ja eroava aaltorintama yhdistyvät yhdeksi poikittaiseksi aaltorintamaksi. Varsinkin nopeiden katamaraanityyppisten alusten aallonmuodostus on yleensä suurinta kriittisellä nopeudella ajettaessa. Jos F_{NH} ylittää arvon 1,0, aluksen sanotaan liikkuvan superkriittisellä nopeudella (super-critical speed). Tällöin poikittainen ja eroava aaltokomponentti yhdistyvät yhdeksi eroavaksi aaltorintamaksi. Poikittainen aaltokomponentti katoaa, sillä sen vaihenopeus ei voi olla kriittistä nopeutta suurempi. (Allenström et al. 2003.)

Kuvassa 10 on esitetty aluksen nopeuden ja vesisyvyyden vaikutus Frouden syvyyslukuun F_{NH} . Tavanomaiset alukset, kuten kontti- ja roro-alukset, liikkuvat yleensä syvän veden nopeuden alueella, eli $F_{NH} < 0,7$ tai sub-kriittisellä nopeusalueella $0,7 < F_{NH} < 1,0$. Nopeat alukset taas voivat liikkua myös superkriittisellä nopeusalueella. (Huesig et al. 1999.)



Kuva 10. Frouden syvyysluku F_{NH} esitettyä nopeuden ja vesisyvyyden funktiona (Allenström et al. 2003)

Esimerkiksi venesatamia tai väylien linjausta suunniteltaessa on hyvä tietää väylällä liikkuvien alusten aiheuttamien aaltojen vaikutussuunta. Kuten edellä jo todettiin, syvän veden nopeuksilla ($F_{NH} < \approx 0,7$) eroavan aaltorintaman eroamiskulma on vakio, noin $35,3^\circ$. Nopeuksilla, joilla $F_{NH} > 0,7$, eroamiskulma θ voidaan teoreettisesti laskea yhtälöstä (U.S. Army 2006)

$$\theta = 35,27 \cdot (1 - e^{12 \cdot (F_{NH}^{-1} - 1)}) \quad (3)$$

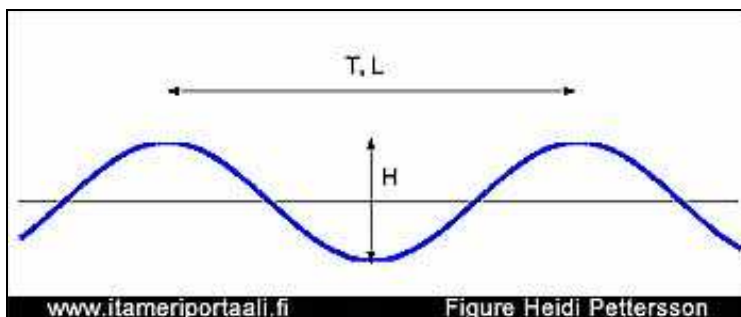
jossa

θ = aaltorintaman eroamiskulma aluksen liikesuunnan kanssa asteina

F_{NH} = Frouden syvyysluku.

3.2.3 Aaltojen ominaisuudet

Keskeisimpiä aaltojen ominaisuuksia kuvaavia parametreja ovat aallon korkeus, pituus ja periodi, joita on havainnollistettu kuvassa 11. Aallon korkeus on aallon pohjan ja huipun korkeusero (H), aallon pituus kahden perättäisen aallon huippujen välinen etäisyys (L), ja aallon periodi kahden perättäisen aallon huippujen välinen aikaero (T). (Tuomi et al. 2010.)



Kuva 11. Aallon korkeus, pituus ja periodi (Lähde: www.itameriportaali.fi)

Aluksen muodostamien aaltojen korkeuden, pituuden ja periodin arvioimiseksi on pyritty muodostamaan teoreettisia yhtälöitä. Näillä yhtälöillä aallon ominaisuuksia voidaan arvioida vain hyvin yleisellä tasolla, sillä aallonmuodostukseen ja aaltojen kulkeutumiseen vaikuttavat niin aluksen aallonmuodostusominaisuudet kuin väylän ja lähiympäristön pohjatopografia, vesisyvyys, etäisyys tarkastelukohteeseen ja luonnon tuuliolosuhteet. Edellä esitettyyn Kelvinin

aaltoteoriaan perustuen Havelock arvioi vuonna 1908 aluksen aallonmuodostusta syvässä vedessä seuraavasti (Verhey ja Bogaerts 1989):

$$\frac{H_i}{h} = \alpha_1 \left(\frac{s}{h} \right)^{-0,33} \cdot F_{NH}^{\alpha_3} \quad (4)$$

jossa

H_i = aallonkorkeus (m)
 h = vesisyvyys (m)
 s = etäisyys aluksesta havaintopisteeseen (m)
 F_{NH} = Frouden syvyytluku.

Aluksen ominaisuuksista riippuvat kertoimet α_1 ja α_3 voidaan määrittää mallikokein tai kirjallisuuden avulla. Rytkönen et al. (2002) mukaan tavanomaisille aluksille voidaan tavallisesti käyttää arvoja $\alpha_1 = 1,2$ ja $\alpha_3 = 4,0$. Ehtona näiden arvojen käytölle on, että $F_{NH} < 0,7$ ja aallonkorkeuden ja vesisyvyyden suhde tulee olla $< 0,6$, toisin sanoen aalto ei saa murtua. Aallon murtumista käsitellään myöhemmin.

Vastaavasti Kelvinin aaltoteoriaan perustuen aallonpituus syvässä vedessä voidaan laskea yhtälöstä (Verhey ja Bogaerts 1989):

$$L_s = 2\pi \cos^2(35,3^\circ) \cdot v_s^2 / g = 0,67 \cdot 2\pi \cdot v_s^2 / g \quad (5)$$

jossa

L_s = aallonpituus (m)
 v_s = aluksen nopeus (m/s)
 g = putoamiskiihtyvyys 9,81 (m/s²).

Aallon periodi syvässä vedessä voidaan lineaarisen aaltoteorian pohjalta laskea aallonpituuden L_s ja periodin T_s välisestä yhteydestä (Rytkönen et al. 2002)

$$L_s = gT_s^2 / 2\pi \quad (6)$$

ja edelleen

$$T_s = \sqrt{\frac{L_s \cdot 2\pi}{g}} \quad (7)$$

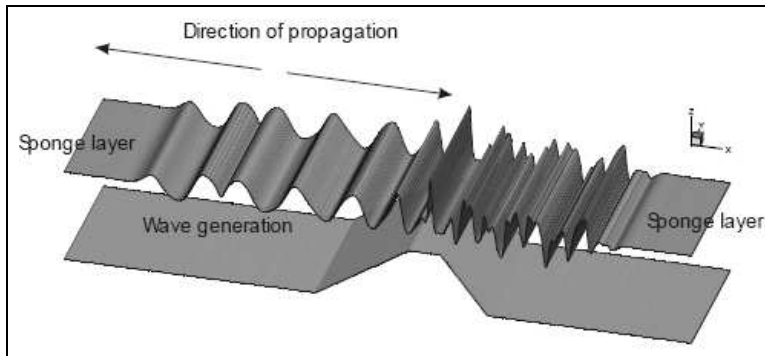
jossa

L_s = aallonpituus (m)
 T_s = aallon periodi (s).

Yhtälöiden 4, 5 ja 7 mukaan esimerkiksi alus, joka liikkuu 15 solmun nopeudella 30 metrin syvyydellä vesialueella ($F_{NH} = 0,45$), aiheuttaisi 500 metrin etäisyydellä aluksesta aaltoja, joiden korkeus olisi noin 0,6 m, aallonpituus 26,0 m ja periodi 4,0 s. Vastaavasti nopeuden laskiessa 10 solmuun ja etäisyyden ja vesialueen syvyyden pysyessä ennallaan ($F_{NH} = 0,30$) aallon korkeus olisi enää noin 0,12 m, aallonpituus 11,5 m ja periodi 2,7 s.

Syvän veden tilanteessa vesisyvyyden ja aallonpituuden suhde $h/L_s > 0,5$. Aallon edetessä kohti rantaa ja vesisyvyyden pienentyessä pohjan kitka vaikuttaa aaltoon niin, että aallon korkeus

kasvaa ja aallon pituus lyhenee. Aalto menettää samalla myös nopeuttaan ja sitä kautta energi-
aansa. (Rytönen et al. 2002) Nousevan pohjan vaikutusta aallon ominaisuuksiin on havainnol-
listettu kuvassa 12.



Kuva 12. Aallon muodon muuttuminen vesisyvyyden pienentyessä (Allenström et al. 2003)

Aallonpituus ja periodi vaikuttavat aallon kulkeutumisnopeuteen. Kulkeutumisnopeus on eri-
lainen syvässä, keskisyvässä ja matalassa vedessä. Syvässä vedessä ($h/L_s > 1/2$) kulkeutumis-
nopeus C on (U.S. Army 2006)

$$C = \frac{L_s}{T_s} = \frac{gT_s}{2\pi}, \quad (8)$$

keskisyvässä vedessä ($1/25 < h/L_s < 1/2$)

$$C = \frac{L_s}{T_s} = \frac{gT_s}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi h}{L_s}\right) \quad (9)$$

ja matalassa vedessä

$$C = \frac{L_s}{T_s} = \sqrt{gh}. \quad (10)$$

Aallonpituus L keskisyvässä vedessä saadaan yhtälöstä (U.S. Army 2006)

$$L = \frac{gT_s^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L_s}\right) \quad (11)$$

jossa

L = aallonpituus keskisyvässä vedessä (m)

T_s = aallon periodi syvässä vedessä (s)

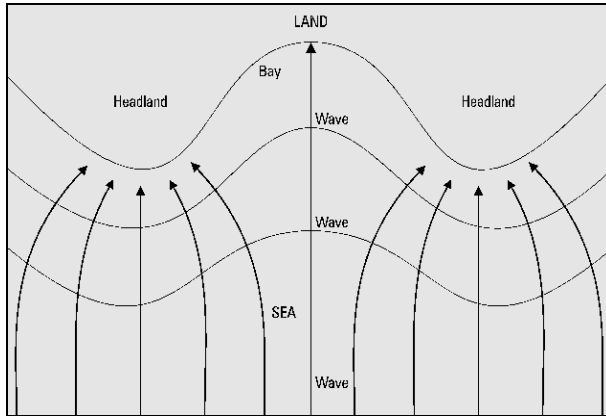
L_s = aallonpituus syvässä vedessä (m)

h = vesisyvyys (m)

ja matalassa vedessä

$$L = T_s \sqrt{gh} = CT_s. \quad (12)$$

Kun aalto saapuu pohjatopografialtaan vaihtelevaan matalaan veteen, sen kulkeutumisnopeus hidastuu, mikä johtaa aallon taipumiseen (refraction). Aallon taipumisilmiötä on havainnollistettu kuvassa 13. Aalto taipuu aina matalampaan vesisyvyyteen päin, sillä aallon kulkeutumisnopeus on sitä pienempi mitä pienempi on vesisyvyys. Aalto siis pyrkii asettumaan vesialueen syvyysskäyrien suuntaisesti. Aallon taipumisesta johtuu, että rantaan kohdistuva aaltovaikutus on suurinta rantaviivan ulokkeissa, esimerkiksi saaren ja niemen kärjessä. (Friman 1989.)



Kuva 13. Aallon taipuminen (Lähde: www.csc.noaa.gov/text/Image14.gif)

Aallon saapuessa matalaan veteen se voi murtua, jos sen jyrkkyys kasvaa riittävän suureksi. Aallonharja ikään kuin kaatuu eteenpäin aallon murtuessa. Aalto voi murtua myös syvässä vedessä, jos nestepartikkelin vaakanopeus ylittää aallon etenemisnopeuden. Aallon murtumiskriteereitä on useita. Tavallisesti yksittäisen aallon murtumiskriteereinä voidaan matalassa vedessä pitää aallon korkeuden H ja vesisyvyyden h tai vaihtoehtoisesti aallon korkeuden ja aallon pituuden L suhdetta. Jos $H/h > 0,6$ aalto murtuu, meriteknisessä tarkastelussa käytetään myös yleisesti suhdetta $0,78$. (Rytönen et al. 2002) Murtumiskriteerissä, jossa tarkastellaan aallon korkeuden ja pituuden suhdetta aalto murtuu, jos suhde H/L saavuttaa arvon $1/7$ (Pettersson 2010).

Laiva-aaltojen tiedetään vaimenevan yleisesti suhteessa etäisyyden käänteisluvun neliöjuureen (Rytönen et al. 2002, Allenström et al. 2003). Tarkastelemalla aiemmin esitettyä kaavaa 4 aallonkorkeuden laskemiseksi havaitaan tämä sama vaimenemissuhde. Aaltojen vaimentumista etäisyyden kasvaessa havaintopisteeseen voidaan arvioida yhtälöllä (Rytönen et al. 2002)

$$\frac{H(r)}{H_0} = \left(\frac{r}{r_0} \right)^d \quad (13)$$

jossa

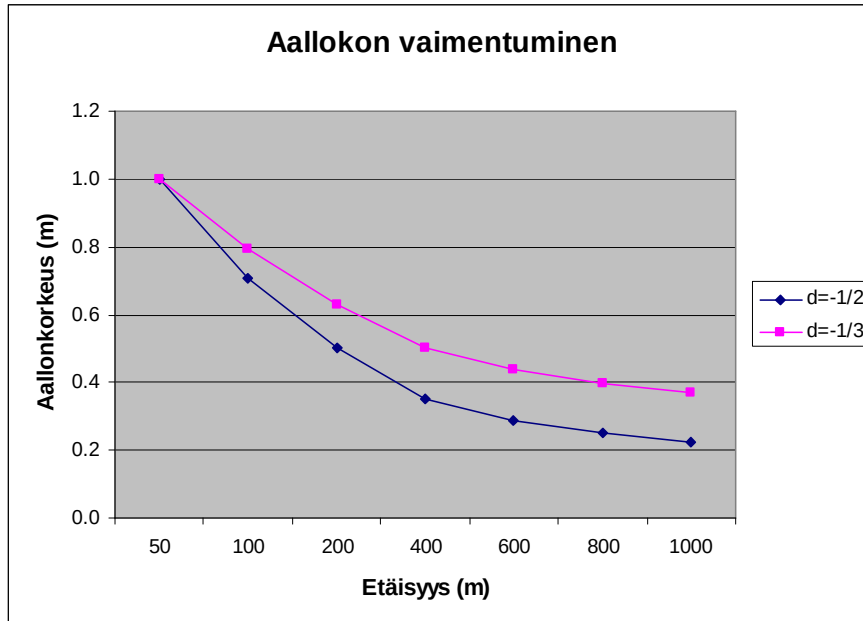
$H(r)$ = maksimiaallonkorkeus (m) etäisyydellä r (m)

H_0 = referenssiaallonkorkeus (m) etäisyydellä r_0 (m).

Kelvinin teorian mukaan $d = -1/2$ poikittaisille ja $-1/3$ erkaneville aalloille (Merenkululaitos 2005 a). Näillä arvoilla poikittaiset aallot vaimenevat yhtälön 13 mukaan erkanevia aaltoja aikaisemmin, mistä voidaan päätellä, että erkanevat aallot ovat tavanomaisilla uppoumarunkoisilla aluksilla ympäristövaikutusten kannalta merkittävimpiä. Nopeilla, katamaraanityyppisillä aluksilla taas aluksen kulkusuuntaan nähden poikittaiset peräaallot ovat tavallisesti erkanevia keula-aaltoja merkittävämpiä (Rytönen et al. 2002). Potenssia $d = -1/3$ on yleisesti käytetty arvioitaessa uppoumarunkoisten alusten aiheuttamien aaltojen ympäristövaikutuksia. Aaltojen

vaimentumista arvioitaessa on suositeltavaa käyttää ylärajana potenssia $d=-1/2$ ja alarajana $d=-1/3$. (Merenkulkulaitos 2005 a.)

Kuvassa 14 on esitetty vaimentumiskuvaaja aallolle, joka on 50 metrin etäisyydellä aluksesta ollut 1,0 m korkea. Kuvaaja perustuu vaimenemisyhtälöön 13 potenssin d arvoilla $-1/2$ ja $-1/3$.



Kuva 14. Laiva-aallon vaimentuminen etäisyyden funktiona

Vaimentumiskuvaajan mukaan syntyhetkellään 1,0 m korkea aalto vaimentuisi puoleen noin 200–400 m etäisyydellä ja aallonkorkeus olisi 1000 m etäisyydellä vielä 0,22–0,37 m. Kuvaajan mukaan aalto vaimentuu alussa suhteellisen nopeasti, mutta etäisyyden kasvaessa vaimentuminen hidastuu.

Todellisuudessa alusten aiheuttaman aallokon vaimentuminen voi olla edellä kuvattua nopeampaa, sillä luonnon aallokon on todettu vaimentavan laiva-aaltoja. Luonnon aallokon vaimentava vaikutus riippuu aallokon voimakkuudesta ja suunnasta suhteessa laiva-aaltoihin. Luonnon aallokon ei sitä vastoin ole todettu merkittävästi vahvistavan laiva-aaltoja interferoimalla niiden kanssa. Sen sijaan kahden tai useamman aluksen yhteisvaikutuksessa alusten aiheuttamien aaltoryhmien on havaittu joissakin tapauksissa vahvistavan toisiaan. (Friman 1989.)

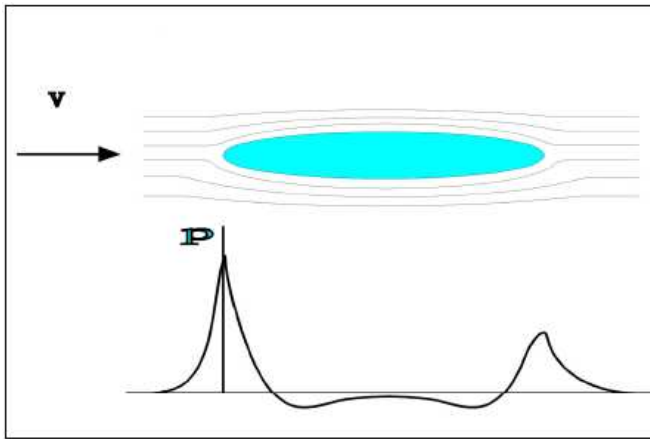
3.3 Alusten aiheuttamat virtaukset

Alus muodostaa liikkeessaan ympärilleen hyvin monimutkaisen virtauskentän. Alusten aiheuttamien ympäristövaikutusten ja tämän tutkimuksen kannalta merkittävimmät virtaukset ovat potentiaalivirtaukset, jotka ilmenevät aallonmuodostuksena, sekä uppoamavirtaukset ja laiva-aaltojen indusoimat virtaukset rantavyöhykkeellä. (Madedivi 1995.)

Kelvin-aaltojen lisäksi alus aiheuttaa liikkeessaan niin sanottuja Bernoulli-aaltoja. Nämä eivät tarkkaan ottaen ole aaltoja vaan painevaihteluja, jotka synnyttävät virtauksia aluksen ympärille. Bernoulli-aallot muodostuvat, kun uppoamarunkoinen alus syrjäyttää uppoumansa suuruisen vesitilavuuden. Alus työntää edetessään vettä alleen ja sivuilleen ja tämän vesimäärän täytyy kiertää alus. Samalla aluksen perään jää aluksen syrjäyttämän vesimassan vuoksi vajaus,

jota lisää vielä potkureiden pyöriessään imemä vesimassa. Tämä vajoaus pyrkii täyttymään aluksen lähiympäristöstä. (Rytönen et al. 2002, Allenström et al. 2003.)

Kuvassa 15 on havainnollistettu liikkuvan aluksen ympärille muodostuvaa painejakaumaa. Aluksen keulaan ja perään syntyy ylipaine ja vedenpinnan nousu, kun taas aluksen sivuille syntyy veden virtausnopeuden kasvun takia vedenpinnan alenema. (Rytönen et al. 2002) Tämä vedenpinnan alenema vaikuttaa osaltaan myös hyvin tunnetun ilmiön, aluksen nopeuspainuman (squat) syntyyn. Tässä ilmiössä alus painuu liikkeessään sitä syvemmälle, mitä suuremmalla nopeudella se kulkee. Nopeuspainuman suuruuteen vaikuttaa aluksen nopeuden lisäksi myös vesialueen syvyys ja poikkileikkausala sekä aluksen runkomuoto, erityisesti niin sanottu rungon täyteläisyysaste. (Allenström et al. 2003, Merenkulkulaitos 2001.)



Kuva 15. Painejakauma liikkuvan aluksen ympärillä (Allenström et al. 2003)

Bernoulli-aaltojen synnyttämää virtauksia kutsutaan uppoamavirtauksiksi. Nämä virtaukset voidaan edelleen jakaa paine- (pressure effect) ja imuvaikutukseen (takaisinvirtaus, back flow). Aluksen kulkiessa vesimäärältään rajoitetussa uomassa, esimerkiksi kanavassa tai kapeassa ja matalassa salmessa, alus voi aiheuttaa paine- ja imuvaikutuksellaan suuria vedenpinnan korkeusvaihteluja lähiympäristössään. (Rytönen et al. 2002.)

Aluksen lähestyessä tarkastelukohtaa voidaan rannalla havaita jo kaukaa pieni vedenpinnan nousu. Aluksen ollessa lähellä tarkastelukohtaa havaitaan suurempi vedenpinnan nousu (painevaikutus), joka on yleensä voimakkaimmillaan aluksen keulan tullessa suoraan tarkastelupisteen kohdalle. Vedenpinnan nousun jälkeen seuraa nopea pinnan alenema (imuvaikutus, draw-down), jolloin myös virtaussuunta muuttuu rannasta poispäin (takaisinvirtaus). Suurin vedenpinnan alenema havaitaan yleensä aluksen perän ohittaessa tarkastelukohdan. Vedenpinnan aleneman jälkeen seuraa jälleen pinnan nousu, joka on suuruudeltaan noin puolet havaitusta maksimaalisesta pinnan alenemasta. Kun alus on ohittanut tarkastelukohdan, vedenpinta rannassa heilahtelee edestakaisin virtaussuunnan muuttuessa rantaa kohden ja rannasta poispäin. Vedenpinnan heilahtelu ja virtaushäiriö rannan tuntumassa voi jatkua rannan pohjaolosuhteista riippuen vielä useita minuutteja aluksen ohituksen jälkeen. (Allenström et al. 2003, Rytönen et al. 2001.)

Aluksen rannan tuntumassa aiheuttaman vedenpinnan aleneman laskemiseksi on esitetty muutamissa lähteissä (esim. U.S. Army 2006, Rytönen et al. 2002) erilaisia matemaattisia yhtälöitä, jotka perustuvat tyypillisesti aluksen käyttämän kulku-uoman ja aluksen uppouman poikkileikkausalojen suhteeseen. Näillä yhtälöillä voidaan arvioida vedenpinnan alenemaa esimerkiksi kanavassa, jossa uoman poikkileikkausala on melko tarkasti laskettavissa. Avoimella vesialueella kulku-uoman poikkileikkausala ei voida laskea eikä aluksen aiheuttamien virtausten

vaikutusalueita pystytään tarkasti määrittämään, joten vedenpinnan aleneman arvioiminen näillä yhtälöillä ei ole tarkoituksenmukaista.

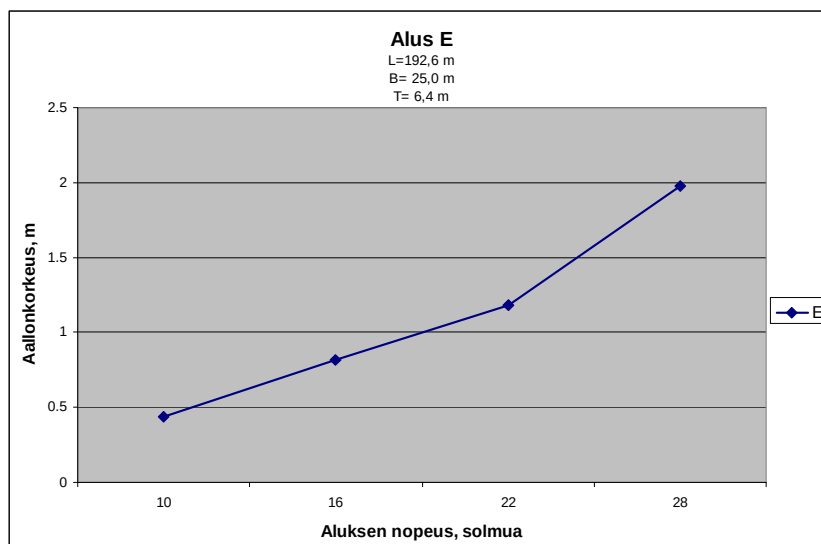
Rantaan kulkeutuvat laiva-aallot voivat indusoida voimakkaita virtauksia rantavyöhykkeellä. Virtaukset ovat tavallisesti voimakkaimmillaan kohdassa, jossa aallot murtuvat. Mitä korkeampi ja pidempi aalto on sitä suurempia virtausnopeuksia se aiheuttaa. Virtausvaikutus kohdistuu myös syvemmälle kuin matalammilla ja lyhyemmillä aalloilla. Pohjatopografia ja rannan muoto vaikuttavat myös aallokon aiheuttaman virtaushäiriön keston. Jyrkkärantaisissa pienissä lahdissa tai laguuneissa vedenpinta voi aaltojen vaikutuksesta jäädä heilahtelemaan ”pumpaten” edestakaisin, jolloin rantaveteen indusoituu hyvin hitaasti vaimentuvia pyörteisiä virtauksia. (Rytönen et al. 2002.)

3.4 Laiva-aaltojen ja virtausten arviointimenetelmät

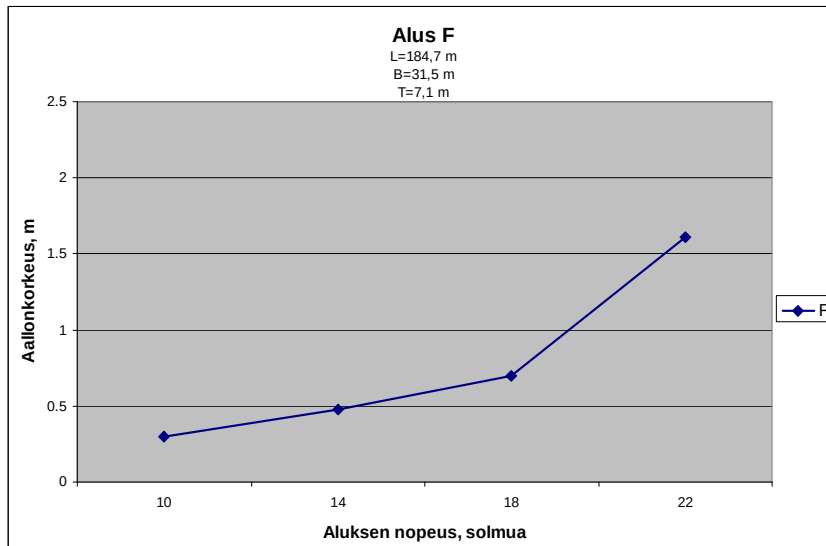
Alusten aiheuttamia aaltoja virtauksia voidaan tutkia teoreettisen tarkastelun lisäksi mallikokeilla, maastomittauksilla ja numeerisiin menetelmiin pohjautuvilla tietokonesimuloinneilla. Mallikokeissa alusten aallonmuodostusta ja uppoumavirtausvaikutusta voidaan tutkia laivalaboratorioiden koealtaissa aluspienoismallien avulla. Maastomittauksilla voidaan arvioida alusten aiheuttamia aaltoja ja virtaushäiriöitä paikallisissa oloissa. Simuloinneissa aallonmuodostusta, aaltojen kulkeutumista ja virtauksia voidaan tutkia tietokonemallinnukseen perustuvilla ohjelmilla. Simulointeja ei tässä yhteydessä käsitellä tarkemmin.

Mallikokeet

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) laivalaboratoriossa on tehty mallikokeita (Rytönen et al. 2002), joissa tutkittiin autolauttojen aiheuttamaa aallonmuodostusta kapeilla saaristoväylillä. Kuvissa 16 ja 17 on esitetty mallikoe tuloksia aluksen aiheuttaman aallon korkeudesta aluksen nopeuden funktiona. Aallonkorkeus on molemmille aluksille (alukset E ja F) mitattu 50 metrin etäisyydellä aluksen keskilinjasta. Vesisyvyyskinä kokeissa käytettiin 15 ja 30 metriä.



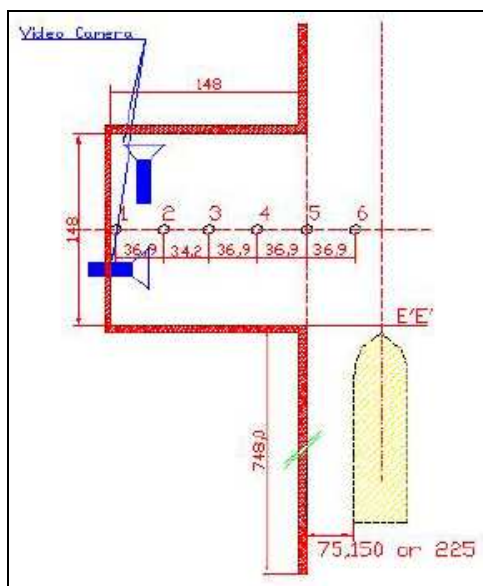
Kuva 16. Aallonkorkeus nopeuden funktiona alus E



Kuva 17. Aallonkorkeus nopeuden funktiona alus F

Kuvien perusteella voidaan todeta, että aallonkorkeus riippuu merkittävästi aluksen nopeudesta. Alusten muodostaman aallon korkeus alusten lähellä noin 10 solmun nopeuksilla vaihtelee välillä 0,3–0,45 m. Nopeuksilla 18–19 solmua aallonkorkeus on jo metrin luokkaa. Aallonkorkeus kasvaa melko tasaisesti aluksesta riippuen noin 18–22 solmun nopeuteen saakka. Kun Frouden syvyysluku F_{NH} lähenee arvoa 0,7, aallonkorkeus alkaa kasvaa voimakkaasti nopeuden lisääntyessä.

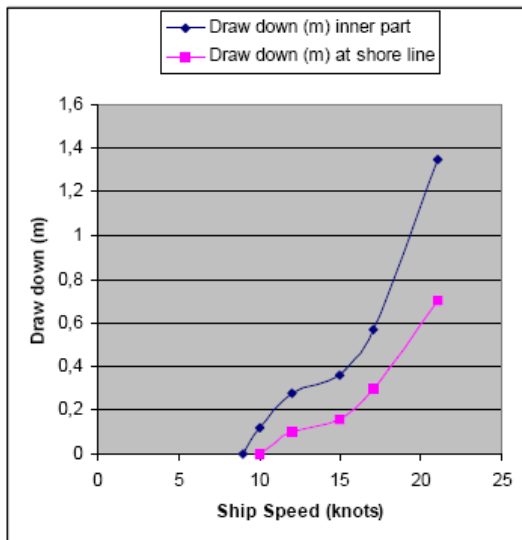
Aluksen uppoumavirtauksen aiheuttamaa vedenpinnan korkeuden alenemaa (drawdown) on tutkittu mallikokeilla Ruotsin johtavan meriteknikan konsulttiyhtiö SSPA:n laboratoriossa (Allenström et al. 2003). Mallikokeissa tutkittiin tavanomaisen ropax-aluksen aiheuttamaa vedenpinnan alenemaa neliönmuotoisessa, todellisuudessa 148 m x 148 m kokoisessa lahdessa (kuva 18) aluksen sivuuttaessa lahdan eri nopeuksilla ja etäisyyksillä.



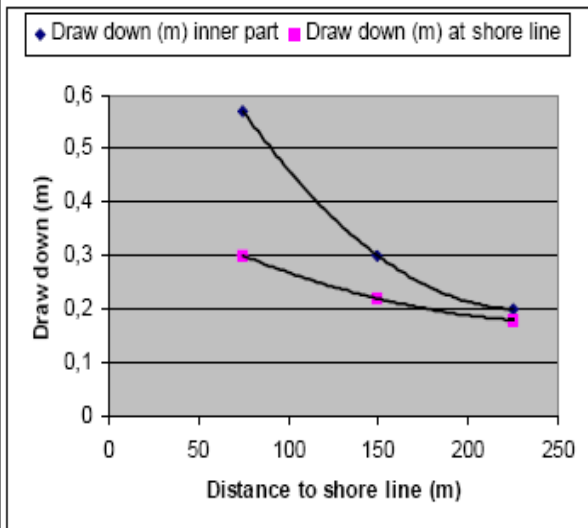
Kuva 18. Koejärjestelyt (Allenström et al. 2003)

Kokeissa käytetty aluspienoismalli vastaa todellisuudessa 194,4 m pitkää, 28,4 m leveää ja 6,6 m syvyyksistä ropax-alusta (vrt. esim. ropax-alus Superfast VII, taulukko 1 sivulla 14). Aluksen

ohituksen aikainen vedenpinnan alenema mitattiin kuudessa eri mittauspisteessä (kuva 18). Kuvassa 19 on esitetty vedenpinnan alenema lahden sisäosassa ja lahden suulla nopeuden funktiona. Kuvassa 20 vedenpinnan alenema on esitetty vastaavasti ohitusetäisyyden funktiona 17 solmun ohitusnopeudella.



Kuva 19. Vedenpinnan alenema aluksen nopeuden funktiona 75 m:n etäisyydellä (Allenström et al. 2003)



Kuva 20. Vedenpinnan alenema etäisyyden funktiona alusnopeudella 17 solmua (Allenström et al. 2003)

Kuvan 19 perusteella aluksen nopeudella on merkittävä vaikutus vedenpinnan alenemaan. Alle 9 solmun nopeudella alenemaa ei havaita lainkaan. Nopeusvälillä 9–12 solmua pinnan alenema kasvaa lähes lineaarisesti nopeuden kasvaessa, välillä 12–15 solmua pinnan aleneman kasvunopeus hidastuu ja voimistuu jälleen nopeuden kasvaessa yli 15 solmuun. Merkittävä havainto kokeiden aikana oli, että vedenpinnan alenema oli suurempaa lahden sisäosassa kuin lahden suulla aluksen ohitusetäisyyden ollessa pieni. Vedenpinnan alenema on kuvan 19 mukaan lahden sisäosassa nopeudesta riippumatta noin kaksinkertaista lahden suuhun verrattuna, kun alus ohittaa lahden 75 metrin etäisyydellä.

Vedenpinnan alenema on kuvan 20 mukaisesti myös voimakkaasti riippuvainen aluksen ohitusetäisyydestä. Kuvan perusteella vedenpinnan alenema lahdessa vähenee alussa suhteellisen nopeasti ohitusetäisyyden kasvaessa, mutta vähenemisnopeus hidastuu suuremmilla etäisyyksillä. Kun ohitusetäisyys kasvaa, myös ero vedenpinnan alenemassa lahden suun ja sisäosan välillä kaventuu, etäisyyden ollessa 225 m ero on jo lähes merkityksetön. Koealtaan rajoituksista johtuen maksimaalinen mallinnettu ohitusetäisyys kokeissa oli 225 m.

Maastotutkimukset

Maastotutkimuksia, jotka käsittelevät alusliikenteen aalto- ja virtausvaikutuksia saaristoväylillä, on tehty lähes yksinomaan Suomessa ja Ruotsissa. Tutkimukset ovat tyypillisesti keskittyneet Suomen ja Ruotsin välisen autolauttaliikenteen vaikutuksiin. Ruotsissa päähuomio on yleensä kohdistunut saaristoväylillä kulkevan alusliikenteen osallisuuteen rantojen eroosioprosessissa. Suomen saaristossa rannat ovat yleensä kalliorantoja ja eroosio näin Ruotsin saaristoa vähäisempää (Rytkönen et al. 2002). Suomessa tutkimukset ovatkin usein kohdistuneet alusliikenteen aiheuttamien aaltojen ja virtausten biologisiin vaikutuksiin. Suomen ja Ruotsin välisen autolauttaliikenteen aiheuttamia aalto- ja virtaushäiriöitä ovat tutkineet Suomessa 1980-luvun lopulla muun muassa Friman (1989) ja 2000-luvulla Rytkönen et al. (2001). Tuk-

holman saaristossa alusliikenteen aiheuttaman aalto- ja virtaushäiriön osallisuutta rantojen eroosioprosessissa on tutkittu hyvin laajasti, viimeisimpänä Granath (2007).

Friman (1989) on tutkinut autolauttojen aiheuttamia aaltoja, virtauksia ja vedenkorkeuden muutoksia Turun saaristossa Turkuun johtavan laivaväylän varrella. Mittauksissa havaittiin 500 m etäisyydellä väylästä pienemmillä autolautoilla ($L=136$ m, $B=24,2$ m, $D=5,4$ m) 16–17 solmun nopeuksilla maksimissaan 0,45–0,55 m korkeita aaltoja. Suuremmilla autolautoilla ($L=168$ m, $B=27,6$ m, $D=6,3$ m) 18–20 solmun nopeuksilla havaittiin jopa 0,90 m korkeita aaltoja. Toisessa mittauspisteessä, jonka etäisyys väylälle oli noin 1600 m, vastaavat maksimaaliset aallonkorkeudet olivat alle puolet edellisistä. Mittauksissa havaitut vedenpinnan korkeusvaihtelut olivat vähäisiä, mikä johtuu todennäköisesti suhteellisen suurista vesisyvyyksistä mittauspisteissä ja mittauspisteiden suurista etäisyyksistä väylältä. Sen aikaiset autolautat olivat myös uppoumaltaan nykyisiä huomattavasti pienempiä, mikä voi osaltaan selittää pienet vedenpinnan korkeusvaihtelut.

Rytönen et al. (2001) on tutkinut nykyaikaisten autolauttojen aiheuttamia aalto- ja virtaushäiriöitä Turun Airistolla Järvistensaaren ja Ruissalon eteläkärjen rannoilla. Järvistensaaren mittauskohteen etäisyys kulkusyvyydeltään 10 metrin laivaväylälle oli noin 650 m. Ruissalon eteläkärjen mittauskohteen etäisyys väylälle oli noin 550 m. Mittauksissa suurimmat aallot havaittiin Viking Linen Isabellan ($L=169,4$ m, $B=27,6$ m, $D=6,3$ m) ja Silja Linen Silja European ($L=201,8$ m, $B=32,6$ m, $D=6,8$ m) ohitusten aikana. Isabella aiheutti noin 19 solmun nopeudella sisään satamaan päin ajaessaan Järvistensaaren rannassa maksimissaan 0,50 m korkuiset, periodiltaan 1,5 s aallot. Ulos satamasta noin 17 solmun nopeudella ajaessaan Isabellan aiheuttamat suurimmat aallot olivat 0,60 m korkeita ja periodiltaan 3,0 s. Silja European suurimmat aallot olivat noin 15 solmun nopeudella sisään ajettaessa maksimissaan 0,30 m korkeita ja periodiltaan 4,0 s. Ulos satamasta ajettaessa noin 18–20 solmun nopeudella aallot olivat maksimissaan 0,35 m korkeita ja periodiltaan 4,0 s. Ruissalon eteläkärjessä, Kuuven nokassa suurimmat aallot havaittiin Isabellan ajaessa sisään Kuuven kohdalla 12,5 solmun nopeudella. Suurimmat havaitut aallot olivat 0,43 m korkeita ja periodiltaan 5,0 s. Silja European suurimmat aallot olivat 0,42 m korkeita ja periodiltaan 6,0 s aluksen ohittaessa Kuuven 11,6 solmun nopeudella. Vedenpinnan alenema autolauttojen ohitusten aikana oli mittauskohteissa maksimissaan 0,20 m.

Granath (2007) on tutkinut Tukholman saaristossa Tukholmaan johtavan väylän varrella olevien saarten rannoilla autolauttaliikenteen aiheuttamia aaltoja ja vedenpinnan alenemaa kahdeksassa eri mittauspisteessä. Tutkimuksissa mitattiin 35:n eri aluksen vaikutuksia, kaiken kaikkiaan alusohituksia oli noin 250. Mittauspisteessä, jonka alukset ohittivat noin 8 solmun nopeudella ja noin 150 m etäisyydellä, suurimmat mitatut aallonkorkeudet vaihtelivat ajosuunnasta riippuen välillä 0,25–0,30 m. Suurin havaittu vedenpinnan alenema oli alle 0,1 m. Mittauspisteessä, jonka alukset ohittivat noin 12 solmun nopeudella ja noin 150 m etäisyydellä, suurimmat mitatut aallot olivat 0,35 m korkeita. Maksimaalinen vedenpinnan alenema vaihteli ajosuunnasta riippuen välillä 0,65–1,0 m. Mittauspisteessä, jonka alukset ohittivat noin 16 solmun nopeudella ja noin 300 m etäisyydellä, suurimmat mitatut aallot olivat noin 0,5 m korkeita. Maksimaalinen vedenpinnan alenema tässä mittauspisteessä oli 0,2 m.

Tutkimuksessa Granath (2007) havaittiin autolauttaliikenteen voivan aiheuttaa huomattavan suuria vedenpinnan korkeusvaihteluja ja aaltoja väylän varrella olevien saarten rantojen tuntumassa. Rantaan kulkeutuneiden laiva-aaltojen korkeuteen ja vedenpinnan aleneman voimakkuuteen todettiin vaikuttavan mittauskohteen etäisyys väylältä, vesisyvyys mittauskohteessa ja sen lähiympäristössä sekä aluksen ajosuunta. Alusten ohitusnopeuden vaikutuksesta laiva-aaltojen korkeuteen ja vedenpinnan alenemaan ei voitu sen sijaan vetää tarkempia johtopäätöksiä, sillä mittauspisteiden syvyysolosuhteet poikkesivat huomattavasti toisistaan ja samas-

sa mittauspisteessä alusnopeudet olivat aina likimain samaa luokkaa. Tutkimuksessa havaittiin alusten aallonmuodostuksen olevan myös hyvin yksilöllistä, eikä se välttämättä ollut suoraan verrannollinen aluksen kokoon.

3.5 Laiva-aaltojen vertailu luonnonaallokkoon

Luonnonaallokko syntyy, kun tuuli puhaltaa pitkin veden pintaa ja luovuttaa liike-energiaansa veteen, jolloin vesi alkaa virrata. Vedenpintaan syntyy pyörteisyyttä, mikä taas aiheuttaa paineeroja, jolloin sileä vedenpinta rikkoutuu. Tuuli pääsee tarttumaan näihin vedenpinnan epätasaisuuksiin, jolloin vesi alkaa aalloilla. (Itämeriportaali 2010.) Aallossa vesipartikkelit liikehtivät ylös- ja alas ympyrän tai ellipsin muotoista orbitaalirataa pitkin. Vesimassa ei siis varsinaisesti liiku aaltojen mukana eteenpäin. Luonnonaaltojen yhteydessä voi tosin esiintyä niin sanottua massakulkeutumista, jossa vesimassa liikkuu hitaasti aaltojen mukana (Friman 1989). Luonnonaallot eroavatkin syntyvaltaan erilaisista laiva-aalloista erityisesti vesimassan kulkeutumisessa, sillä laiva-aaltojen mukana vesimassa liikkuu aaltojen mukana eteenpäin. (Mädekivi 1993.)

Luonnonaallokon muodostumiseen ja aallokon ominaisuuksiin vaikuttavia keskeisiä tekijöitä ovat tuulen nopeus, vaikutusaika ja pyyhkäisymatka. Myös vesialueen muoto ja syvyys vaikuttavat aallokon ominaisuuksiin. (Tuomi et al. 2010.) Otolliset olosuhteet voimakkaan luonnonaallokon syntymiselle ovat, kun pitkäkestoinen, kova tuuli pääsee puhaltamaan laajalla avoimella vesialueella. Saaristo-olosuhteissa suuria ja avoimia selkiä ei useinkaan ole, vaan lukuisat saaret, luodot ja karikot heikentävät luonnonaallokon muodostumista.

Luonnonaallokko on luonteeltaan epäsäännöllistä. Aallokko koostuu eripituisista ja -korkuisista aalloista ja aaltoryhmistä. Luonnossa esiintyy usein myös niin sanottua ristiaallokkoa, jossa eri suuntaan etenevät aaltoryhmät kohtaavat ja sekoittuvat keskenään. Aallokon suunta ei aina ole myöskään sama kuin tuulen suunta. Esimerkiksi Suomenlahden keskiosassa aallokon suunta voi poiketa jopa 50 ° tuulen suunnasta. (Tuomi et al. 2010) Aallokon muodostumista voidaan nykyisin arvioida jo hyvin tarkasti niin sanotuilla kolmannen sukupolven aaltomalleilla, joilla voidaan laskea aallokon korkeus ja suunta halutussa paikassa alueen tuulitietojen avulla. Ennusteet tuulen nopeuksista ja suunnista saadaan sääennustemalleista. (Ilmatieteenlaitos 2010 a.)

Luonnonaallokon korkeutta kuvataan yleisesti merkitsevällä aallonkorkeudella $H_{1/3}$ (tai H_s) joka kuvaa tietyn aaltospektrin aallonkorkeuksien korkeimman 33 % keskiarvoa (Rytönen et al. 2002). Merkitsevä aallonkorkeus vastaa suurin piirtein kokeneen merenkulkijan arvioimaa keskimääräistä aallonkorkeutta. Korkein yksittäinen aalto on likimain kaksinkertainen merkitsevään aallonkorkeuteen verrattuna (Tuomi et al. 2010).

Merkitsevää aallonkorkeutta H_s ja aallon huippuperiodia T_m voidaan Rytönen et al. (2002) mukaan arvioida tuulen vapaan pyyhkäisymatkan ja tuulen nopeuden avulla kaavoilla

$$H_s = 0,02013 X^{0,55} U^{0,90} \quad (14)$$

jossa

- H_s = merkitsevä aallonkorkeus (m)
- X = tuulen vapaa pyyhkäisymatka (km)
- U = tuulen nopeus (m/s)

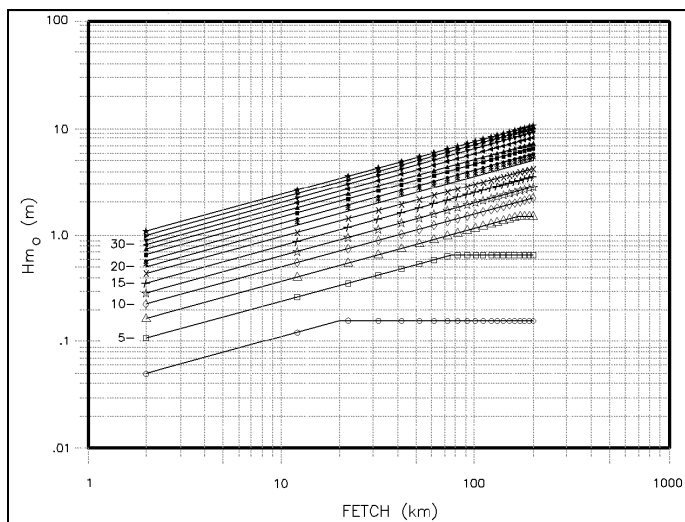
$$T_m = 0,605 X^{0,33} U^{0,34} \quad (15)$$

jossa

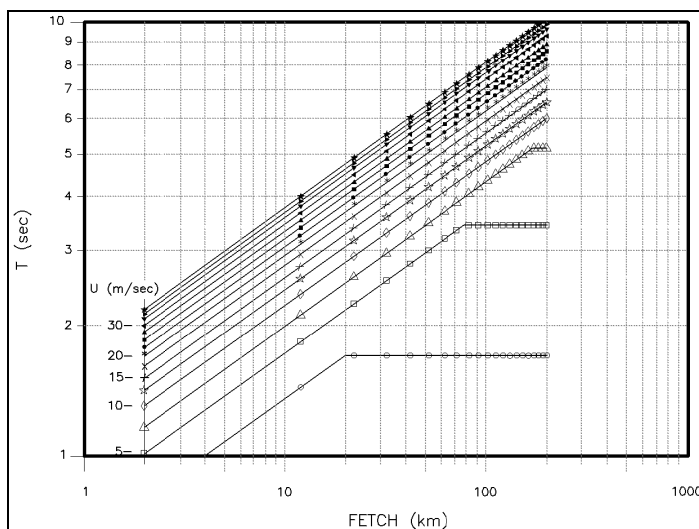
T_m = aallokon huippuperiodi (s).

Jos tuulen vapaa pyyhkäisymatka olisi esimerkiksi 5 km ja tuulen nopeus 10 m/s, merkitseväksi aallonkorkeudeksi saataisiin kaavojen 14 ja 15 perusteella noin 0,40 m ja vastaavasti huippuperiodiksi noin 2,3 s. Jos pyyhkäisymatka pysyisi samana, mutta tuulen nopeus olisi esimerkiksi 5 m/s, merkitseväksi aallonkorkeudeksi saataisiin tällöin noin 0,20 m ja huippuperiodiksi noin 1,8 s.

Merkitsevää aallonkorkeutta ja huippuperiodia voidaan arvioida pyyhkäisymatkan avulla myös lähteen U.S. Army 2006 esittämillä nomogrammeilla (kuvat 21 ja 22). Äskeisen esimerkin mukaisessa tilanteessa merkitseväksi aallonkorkeudeksi saataisiin nomogrammeilla ensimmäisessä tapauksessa noin 0,38 m ja huippuperiodiksi noin 1,8 s. Toisessa tapauksessa vastaavat arvot olisivat 0,18 m ja 1,4 s.



Kuva 21. Nomogrammi merkitsevän aallonkorkeuden määrittämiseksi (U.S. Army 2006)



Kuva 22. Nomogrammi aallon periodin määrittämiseksi (U.S. Army 2006)

Edellä esitetyt arviot tuuliaallokon ominaisuuksista edustavat varsin keskimääräisiä arvoja syvässä vedessä. Aaltojen kulkeutuessa matalaan veteen niiden korkeus kasvaa, nopeus pienenee ja pituus lyhenee. Aallot myös taipuvat ja aaltorintaman suunta muuttuu pohjaolosuhteiden vaikutuksesta matalassa vedessä. Saaristo-olosuhteissa, joissa tuulen yhtäjaksoinen pyyhkäisymatka on tavallisesti suhteellisen lyhyt, luonnonaallokon periodi jää lyhyeksi (n. 1–4 s). Laiva-aallot taas ovat alustyyppistä, nopeudesta ja pohjaolosuhteista riippuen tavanomaisilla aluksilla periodiltaan yleensä 3–5 s. Nopeilla aluksilla periodi voi olla jopa yli 10 s. Laiva-aaltojen kulkeutumisnopeus on noin kaksi kertaa suurempi kuin samankorkuisilla luonnonaalloilla. Laiva-aallot voivat pidemmän periodinsa ja suuremman kulkeutumisnopeutensa ja sitä kautta suuremman energiansa vuoksi vaikuttaa voimakkaammin rantavyöhykkeellä kuin luonnonaallot. Esimerkiksi aallon nousu rannalle (run-up) on voimakkaampaa aalloilla, joilla on pitkä periodi kuin yhtä korkeilla mutta lyhyempiperiodisilla aalloilla. Kun aalto saapuu matalaan veteen, pohja alkaa vaikuttaa pidempiperiodiseen aaltoon aikaisemmin kuin lyhytperiodiseen ja pidempiperiodinen aalto ehtii näin kasvaa korkeammaksi. (Allenström et al. 2003.)

3.6 Aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset

Alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset voidaan jakaa ekologiaan, morfologiaan ja vesien käyttöön kohdistuviin vaikutuksiin. Ekologiset vaikutukset voivat ilmetä esimerkiksi kalojen kudun häiriintymisenä, mikä voi johtaa kalakantojen pientymiseen vesialueella. Morfologiset vaikutukset voivat ilmetä pohjasedimentin kulkeutumisesta johtuvana rantojen eroosiona tai satamien liettymisenä. Vesien käyttöön kohdistuvat vaikutukset voivat aiheuttaa vahinkoa rakennetulle ympäristölle tai omaisuudelle ranta-alueilla tai vaikeuttaa ranta-alueiden asutus- ja virkistyskäyttöä. (Madedivi 1995, Rytönen et al. 2002.) Tässä esityksessä keskitytään vesien käyttöön kohdistuviin ympäristövaikutuksiin, jotka ovat tämän työn kannalta keskeisimpiä.

Vesien käyttöön kohdistuvista ympäristövaikutuksista on saatavilla hyvin vähän tutkimustietoa. Useissa alusliikenteen ympäristövaikutuksia käsittelevissä tutkimuksissa sivutaan vesien käyttöön kohdistuvia vaikutuksia, mutta käsittely on poikkeuksetta hyvin yleisluontoista. Aiheita lähestytään tässä yhteydessä alusliikenteen ympäristövaikutuksia käsittelevien tutkimusten ohella kokemuseräisen tiedon kautta, jota saatiin tämän tutkimuksen aikana muun muassa saariston asukkaiden kanssa käytyjen keskustelujen ja sähköpostiviestien pohjalta.

Venesatamien ja -laiturien käyttö ja veneiden kiinnitys

Venesatamat ja -laiturit pyritään suojaamaan luonnonaallokolta aallonmurtajilla, mutta alusten aiheuttamat, luonnonaallokkoa suurempiperiodiset aallot voivat joissain tapauksissa kantautua satamiin suojauksista huolimatta (Aage et al. 2003). Alusten uppoamavirtauksista aiheutuvia vedenpinnan korkeusvaihteluja rannan tuntumassa ei voida estää rakentamalla aallonmurtajia tai muita suojarakenteita. Alusten aiheuttamat aallot ja uppoamavirtaukset voivat vaikeuttaa venesatamien ja laitureiden käyttöä varsinkin satamissa, jotka ovat aiemmin olleet suojassa alusliikenteen vaikutuksilta. Näissä satamissa veneet täytyy kiinnittää laitureihin erityisen huolellisesti, jotta vahingoilta välttyttäisiin.

Tilanteessa, jossa alusten aiheuttamat aallot pääsevät kantautumaan venesatamaan saakka, laitureihin kiinnitetyt veneet alkavat liikkua kiinnitysköysissään ja voivat hankautua laituria, rantakiviä tai toisiaan vasten. Lähekkäin kiinnitettyjen purjeveneiden mastot saattavat iskeytyä vastakkain ja vaurioitua veneiden heilahdellessa puolelta toiselle (Madedivi 1993). Voimakkaat aallot voivat joissain tapauksissa aiheuttaa laiturin kiinnitettynä olevan veneen kaatumisen ja uppoamisen.

Suurten alusten aiheuttamat uppoamavirtaukset voivat indusoida venesatamiin laitureiden edustoille voimakkaita pyörteisiä virtauksia, jotka liikuttavat laitureihin kiinnitettyjä veneitä ja saavat veneet ”tempomaan” kiinnitysköysissään. Jos veneet on kiinnitetty kiinteästi pohjaan tukeutuvaan laituriin, eikä laituri pääse vapaasti liikkumaan vedenpinnan korkeusvaihteluiden mukana, veneiden kiinnitysköysiin voi kohdistua voimakasta kuormitusta. Voimakkaan imuvaiikutuksen aiheuttama vedenpinnan lasku voi aiheuttaa matalassa rannassa kiinnitettynä olevan veneen pohjakosketuksen. Tämä voi olla erityisen haitallista purjeveneille, joiden köli voi pohjakosketuksessa vaurioitua.

Suurten alusten aallonmuodostuksen ja virtausvaikutusten takia pienveneiden lähtö venesatamasta tai sinne saapuminen voi vaikeutua. Alusten aiheuttamat aallot ja voimakkaat virtaukset voivat vaikeuttaa pienveneiden hallintaa ja laiturista lähtö tai siihen kiinnittyminen voi tuottaa ongelmia. Kun alus kulkee väylällä venesataman ohitse, satamaan tulo tai sieltä lähteminen voi samanaikaisesti olla mahdotonta.

Monissa saariston saarissa käy varsinkin kesäaikana saarten paikallisten kesäasukkaiden lisäksi paljon retkeilijöitä ja ulkoilijoita omilla pienveneillään. Monet heistä tuntevat paikalliset olosuhteet huonosti. Kun kelin on tyyni ja luonnonaallokko vaimeaa, väylällä liikkuvan aluksen aiheuttama laiva-aalto voi yllätyksellisyydellään aiheuttaa vahinkoa olosuhteisiin nähden riittämättömästi tai sopimattomaan paikkaan kiinnitetylle veneelle.

Laiturirakenteet

Pienvenelaiturit voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: kelluviin ja kiinteisiin laitureihin. Kelluvissa laitureissa on yleensä puurakenteinen kansiosa, joka kelluu muovi-, teräs- tai betoniponttonien varassa. Kelluvat laiturit ankkuroidaan pohjaan tyypillisesti betonipainoihin kiinnitetyillä kuumasinkityillä teräsketjuilla tai suoraan pohjaan tukeutuvilla paaluilla tai pilareilla. Kelluvat laiturit liikkuvat vedenpinnan korkeusvaihteluiden mukana, joten niihin kiinnitettyjen veneiden kiinnitysköysiin ei kohdistu suurta rasitusta. (Suomen kaupunkiliitto 1981.) Kelluvien laitureiden ankkurointiin sen sijaan voi kohdistua kovaa rasitusta vedenpinnan korkeuden vaihdellessa (Madedkivi 1993).

Kiinteät laiturit voidaan valaa joko suoraan pohjaan tai ne voidaan tukea pohjaan esimerkiksi betonirenkailla tai -paaluilla. Kiinteät laiturit voivat olla myös niin sanottuja pistolaitureita, joissa laiturin toinen pää tuetaan rantaan ja toinen pää esimerkiksi paaluilla tai pilareilla pohjaan. (Suomen kaupunkiliitto 1981.) Suoraan pohjaan valetut massiiviset kiinteät laiturit on yleensä suunniteltu kestämaan kovaakin veden- ja jäänliikkeiden aiheuttamaa kuormitusta. Voimakkaat alusten aiheuttamat virtaukset voivat syövyttää laitureiden perustuksia, jos virtausnopeudet pohjan tuntumassa ovat suuria ja maa-aines riittävän hienorakeista kulkeutuakseen virtausten mukana.

Jäätalvina laiturirakenteisiin voi kohdistua voimakasta rasitusta, mikäli laituria ympäröivä jääkenttä liikkuu alusten uppoamavirtausten aiheuttamien vedenpinnan korkeusvaihteluiden mukana (Madedkivi 1993). Kiinteät laiturit kestävät massiivisuutensa vuoksi tavallisesti kelluvia laitureita paremmin jäiden liikkeen aiheuttamaa rasitusta. Ainakin pienemmät kelluvat laiturit nostetaan yleensä talven ajaksi maihin.

Rantojen asutus- ja virkistyskäyttö

Saarten ranta-alueita ja niiden lähivesiä käytetään saaristossa varsinkin kesäaikana vapaa-ajan virkistystoimintaan. Tyypillistä virkistystoimintaa on esimerkiksi oleskelu rannoilla, veneily, uiminen, retkeily ja ulkoilu sekä harrastekalastus. Jos rannan edustalla kulkee laivaväylä, väy-

lällä liikkuvien alusten aiheuttamat aallot ja virtaukset voivat heikentää rannan ja sen läheisyydessä olevan vesialueen virkistyskäyttömahdollisuuksia. Suuret laiva-aallot voivat vaikeuttaa uimista rantavyöhykkeellä ja voimakkaan imuvaikutuksen aiheuttamat virtaukset voivat aiheuttaa vaaratilanteita vedessä leikkiville pienille lapsille. Laiva-aallot voivat vaikeuttaa pienveneiden kurssin säilyttämistä ja keikuttaa veneitä voimakkaasti. Aallot ja virtaukset voivat myös vahingoittaa kalastajien pyydyksiä ja vaikeuttaa niiden kokemista. Aaltojen mukana ajelehtivien levien ja kasvien aiheuttama pyydysten likaantuminen on todettu olevan suurinta laivaväylän läheisyydessä (Madekivi 1993).

Alusliikenteen aaltojen ja virtausten vaikutus voidaan kokea rantakiinteistöjen käyttömahdollisuuksien vaikeutumisena ja kiinteistöjen arvon alentumisena (Madekivi 1993). Rantakiinteistöä, joka sijaitsee lähellä tiheästi liikennöityä laivaväylää, voitaneen verrata kiinteistöön, joka on vilkasliikenteisen maantien varrella. Osa kiinteistön arvosta muodostuu kiinteistön sijaintipaikasta, ja yleensä rauhallista ja häiriötöntä sijaintia arvostetaan häiriöille alttiina olevaa paikkaa enemmän. Rantakiinteistöt ovat varsinkin saarissa useimmiten lomailu- ja muussa vapaa-ajanviettokäytössä, jolloin vaatimukset kiinteistön lähiympäristön rauhallisuudelle lisääntyvät.

Saaristoelämään on aina kuulunut merenkulku ja monentyyppinen alusliikenne. Alusliikenteestä, kuten liikenteestä yleensäkin, syntyy väistämättä erilaisia haittavaikutuksia. Kysymys kuuluu, ovatko haittavaikutukset olleet olemassa jo kauan, jolloin niihin on totuttu ja niihin osataan varautua, vai ovatko haitat lisääntyneet hiljattain esimerkiksi uuden väylän rakentamisen tai väylän linjauksen muutoksen myötä. Alusliikenteen häiriön kokemista voidaan pitää myös hyvin subjektiivisena. Toiset asukkaat kokevat rahtilaivojen ohitukset häiriötekijöiksi, kun taas toiset katselevat laivoja mielellään ja heidän mielestään ne kuuluvat luonnollisena osana saaristoelämään.

4 MAASTOTUTKIMUKSET

4.1 Tutkittavat ilmiöt

Maastotutkimukset suoritettiin Vuosaaren väylän varrella ajanjaksoilla 25.6 ja 29.6.2009 sekä 10.–11.5 ja 18.5.2010. Maastotutkimuksissa mitattiin Vuosaaren väylällä liikkuneiden alusten aiheuttamia vedenpinnan korkeusvaihteluja, aallokkoa ja virtauksia väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla ja venesatamissa. Alusten aiheuttamia vedenpinnan korkeusvaihteluja ja virtauksia mitattiin rannan tuntumassa venelaitureiden edustoilla. Alusten aiheuttamia aaltoja ja luonnon tausta-aallokkoa mitattiin venesatamien suulla sellaisissa kohdissa, joissa aallonmurtaja tai muu este ei vielä ollut vaikuttanut rantaan kantautuvan aallon ominaisuuksiin.

4.2 Mittausmenetelmät ja -laitteet

Vedenpinnan korkeusvaihtelumittaukset

Alusten ohitusten aikaisia vedenpinnan korkeusvaihteluja mitattiin yksinkertaisella menetelmällä: vedenkorkeuden mitta-asteikko (kuva 23) asetettiin pohjaan haluttuun mittauspaikkaan, vedenpinnan nolakohta mitta-asteikossa merkittiin ylös ja vedenpinnan korkeuden vaihtelua tarkasteltiin asteikolla. Asteikkoa kuvattiin mittausten aikana myös videokameralla myöhemmää analysointia varten. Vedenpinnan korkeusvaihtelut havaittiin asteikosta suurimmassa osassa mittauksista 2 cm tarkkuudella. Tausta-aallokon vuoksi osassa mittauksista jouduttiin tyytymään 5 cm tarkkuuteen, jota pidettiin kuitenkin tämän tutkimuksen kannalta varsin riittävänä. Mittaustuloksia verrattiin vedenpinnan nolatasoon, jolloin saatiin vedenpinnan alenema tai nousu alusten liikkeessä eri kohdilla väylää sekä näiden maksimaaliset arvot alusten ohitusten aikana.

Aaltomittaukset

Aaltomittauksia varten rakennettiin kevyt aaltopoiju (kuva 24). Poiju koostui muovisesta mitta-asteikosta, kohosta ja rautaisesta ankkuripainosta. Poiju asetettiin kellumaan veteen halutulle korkeudelle ja ankkuroitiin tukevasti pohjaan raskaan ankkuripainon avulla. Poijua kuvattiin mittausten aikana videokameralla, ja videokuvaa tarkastelemalla pystyttiin jälkikäteen arvioimaan poijun kohdanneiden aaltojen korkeutta ja periodia. Mittausmenetelmä ei ole kovin tarkka. Aallonkorkeudelle voidaan visuaalisella tarkastelulla videokuvasta saavuttaa korkeintaan 5 cm tarkkuus. Aallon periodille voidaan tällä menetelmällä saavuttaa 0,5–1,0 s tarkkuus. Tämän työn kannalta keskeistä oli aaltojen osalta niiden aiheuttamien haittojen arvioiminen rannan tuntumassa eikä varsinainen aaltotutkimus, joten tarkemmille aaltojen ominaisuuksia rekisteröiville laitteille ei katsottu olevan tarvetta. Tarkemmissa aaltotutkimuksissa voidaan käyttää esimerkiksi kapasitiivista aaltoanturia, jonka mittausdatasta saadaan piirrettyä tarkasti aaltojen profiilit.

Virtausmittaukset

Alusten ohitusten aikaisia virtausnopeuksia rannan tuntumassa lähellä pohjaa mitattiin akustisella 3D-virtausnopeusanturi ADV:llä (Acoustic Doppler velocimeter) (kuva 25). Ennen tutkimuskäyttöä laitteen oikea toiminta varmistettiin Teknillisen korkeakoulun vesilaboratoriossa. ADV mittaa akustisesti, ääniaaltojen kulkeutumisnopeuksiin perustuen virtausnopeuksien kaikki kolme nopeuskomponenttia. ADV:n tallentama mittausdata analysoitiin ADV-Win -ohjelmalla, jolla tehtiin myös virtausnopeustulosteet. Virtausnopeusmittaukset käynnistettiin alusten lähestyessä mittauskohdetta ja niitä jatkettiin vielä useita minuutteja aluksen jo ohitet-

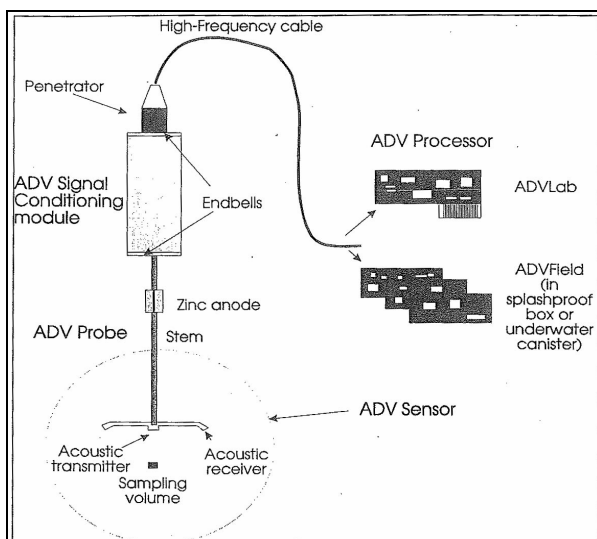
tua kohteen. Alusten ohitusten aikaisten virtausnopeuksien lisäksi mitattiin tasaisin väliajoin myös niin sanottuja taustavirtausnopeuksia. Taustavirtaukset ovat luonnollisissa olosuhteissa ilman ulkoisten häiriötekijöiden vaikutusta havaittavia virtauksia. Taustavirtaukset ovat eri sääoloissa ja eri kohteissa suunnaltaan ja suuruudeltaan erilaisia. Alusten aiheuttamia virtauksia arvioitaessa ei ole tarkoituksenmukaista tarkastella vain virtausnopeuksien suuntaa ja suuruutta. On myös tärkeää verrata alusten ohitusten aikana havaittuja virtausnopeuksia paikallisiin taustavirtausnopeuksiin. Näin saadaan käsitys alusten aiheuttaman virtaushäiriön voimakkuudesta suhteessa luonnon virtauksiin.



Kuva 23. Mitta-asteikko



Kuva 24. Aaltopoiju



Kuva 25. ADV:n kokoonpano

4.3 Mittauskohteet

Mittauskohteiden valinta

Mittauskohteiden lukumäärä oli rajattava tutkimuksiin käytettävissä olleiden resurssien rajoitteiden vuoksi muutamaa kohteeseen. Mittauskohteet valittiin alusliikenteen vaikutusten ennakkoarvioinnin, aiemman kokemuseräisen tiedon ja saariin tehtyjen vierailukäyntien pohjalta. Mittauskohteiksi pyrittiin valitsemaan sellaisia kohteita, joissa alusliikenteen haittavaikutukset arvioitiin vesien käytön kannalta merkittävimmiksi.

Ennakkoarvioinnissa Vuosaaren väylän alusliikenteen vaikutuksia pyrittiin arvioimaan luvussa 3 esitettyjen teoreettisten yhtälöiden, mallikokeiden ja muualla aiemmin tehtyjen maastotutkimusten pohjalta. Ennakkoarviointiin liittyvät laskelmat on esitetty liitteissä A.1–A.3. Alusten aiheuttamien aaltojen kulkeutumisuuunta ja sen perusteella aaltojen syntyhetken etäisyys väylältä saarten rantoihin laskettiin sekä satamaan sisään ajavan että ulos ajavan alusliikenteen osalta. Laskettujen etäisyyksien ja alueiden syvyysolosuhteiden pohjalta arvioitiin alusten aiheuttamien aaltojen korkeutta, pituutta ja periodia saarten rantojen tuntumassa.

Saarten rantoja, joihin väylällä liikkuvan alusliikenteen aaltovaikutus arvioitiin kohdistuvan, arvioitiin myös luonnon tuuliaallokon vaikutusten kannalta. Rantoihin kohdistuvan luonnonaallokon merkitsevää aallonkorkeutta sekä aallonpituutta ja -periodia erilaisilla tuulennopeuksilla ja suunnilla arvioitiin luonnonaallokon arvioimiseksi kehitettyjen yhtälöiden ja nomogrammien (ks. sivut 33–34) pohjalta. Arvioita luonnonaallokon vaikutuksista verrattiin arvioihin alusliikenteen vaikutuksista. Vertailun perusteella pyrittiin kartoittamaan väylän varrella kohteet, joissa alusliikenteen vaikutukset olisivat merkittäviä luonnonaallokon vaikutuksiin verrattuna.

Alusliikenteen aiheuttamien vedenpinnan korkeusvaihteluiden arvioiminen saarten rantojen tuntumassa on vaikea tehtävä (Granath 2007). Vedenpinnan korkeusvaihteluiden on todettu olevan voimakkainta rannoilla, joita ympäröivän vesialueen syvyys on pieni, ja alukset kulkevat rantojen edustalla väylällä vesimäärältään rajoitetussa kapeassa salmessa tai ruoppaamalla syvennetyssä kapeikossa. Suuret alusnopeudet ja lyhyet etäisyydet väylälle lisäävät vedenpinnan korkeusvaihtelua rannan tuntumassa.

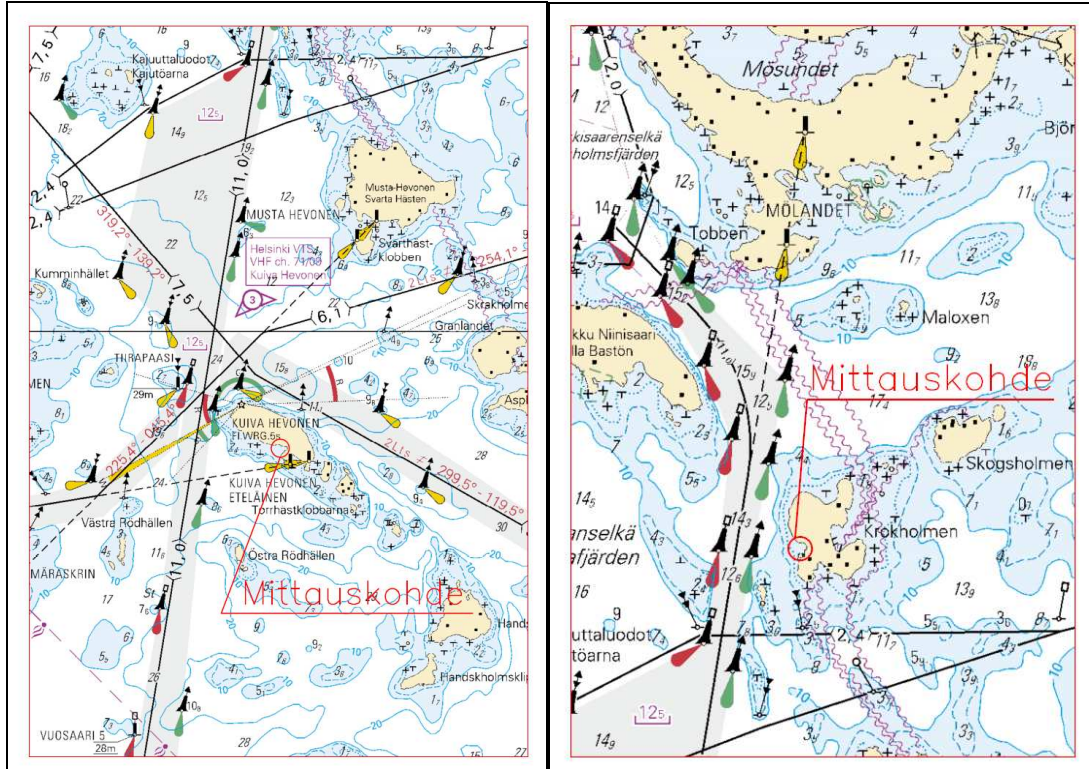
Vuosaaren väylän laajat ruoppausalueet sijaitsevat Kuiva Hevosen, Krokholmenin ja Musta Hevosen edustoilla (kuva 6 s.15). Kuiva Hevonen ja Krokholmen sijaitsevat lähellä väylää, kun taas Musta Hevosen etäisyys väylälle on jo lähes kilometri. Suurimmat alusten aiheuttamat vedenpinnan korkeusvaihtelut oletettiin esiintyvän Kuiva Hevosen ja Krokholmenin länsirannoilla. Mölandetin ja Pikku-Niinisaaren kohdalla vedenpinnan korkeusvaihtelut arvioitiin vähäisiksi, sillä näiden saarten edustoilla alukset liikkuvat väylällä alhaisilla, tyypillisesti 5–8 solmun nopeuksilla. Luvussa 3 esitettyjen, aiemmin muualla tehtyjen maastotutkimusten ja mallikokeiden perusteella vedenpinnan korkeusvaihtelut ovat näin alhaisilla nopeuksilla merkityksettä.

Kokemuseräistä tietoa alusliikenteen vaikutuksista Vuosaaren väylän varrella olevien saarten rannoilla ja venesatamissa saatiin saarten asukkailta keskustelujen ja sähköpostikommenttien kautta. Merenkululaitoksen Suomenlahden väyläyksikössä oli vuoden 2008 lopulla tehty myös esiselvitys Vuosaaren väylän alusliikenteen aiheuttamista haitoista (Kerkelä 2008). Selvityksessä tarkkailtiin Finnlines-varustamon Star-luokan ropax-alusten aiheuttamia vedenpinnan korkeusvaihteluita kahdessa mittauskohteessa, Kuiva Hevosen venesatamassa ja Krokholmenin mökkirannassa.

Ennen varsinaisia maastomittauksia vierailtiin osassa väylän varrella olevista saarista. Vierailukäyntien aikana arvioitiin saarten edustojen ja venesatamien syvyysolosuhteita, satamien

suojaisuutta merenkäyntiä ja laiva-aaltoja vastaan sekä venelaiturityyppejä ja pintapuolisesti niiden rakennetta.

Ennakoarvioinnin, aiemman kokemuseräisen tiedon ja vierailukäyntien perusteella mittauskohteiksi valittiin Kuiva Hevosen eteläpuolen venesatama sekä Krokholmenin länsipuolen mök-
kiranta. Valitut mittauskohteet on esitetty merikartalla kuvissa 26 ja 27.



Kuva 26. Kuiva Hevosen mittauskohde

Kuva 27. Krokholmenin mittauskohde

Mittauskohteiden kuvaus

Kuiva Hevosen eteläpuolen venesatama (kuvat 28 ja 29) sijaitsee laguuninmallisessa lahdessa. Tätä luonnonsatamaa suojaavat merenkäynniltä osittain pienet luodot, jotka ovat keskellä laguunin suuta. Väylällä liikkuvat alukset ohittavat venesataman noin 750 m etäisyydeltä. Satama on vesisyvyydeltään matala. Laiturien edustalla vesisyvyys vaihtelee 0,5–1,0 metrin välillä, muualla vetä on 1–3 m. Venesatamasta väylän suuntaan vesisyvyys lisääntyy, mutta matala, 5–10 m syvyinen vesialue ulottuu jopa 250 m etäisyydelle rannasta.

Venelaitureita satamassa on kaikkiaan noin 15. Laiturit ovat tyypillisesti puurakenteisia kiviarkkulaitureita. Satamassa veneet kiinnitetään tyypillisesti keulastaan laituriin ja perästään vedenalaisella vaijerilla laguunin keskellä olevaan kallioluotoon. Venesatamaa ja sen ranta-aluetta käytetään veneiden säilytyksen lisäksi yleiseen oleskeluun ja uimiseen.



Kuva 28. Venesataman laitureita



Kuva 29. Näkymä venesatamasta merelle

Krokholmenin mökkiranta sijaitsee Krokholmenin saaren länsipuolella. Lyhyin etäisyys mökkirannasta Vuosaaren väylän keskilinjalle on alle 400 m. Krokholmenin edustalla väylä kulkee kapeikossa, joka on muodostunut, kun väyläalueella sijainnut matalikko ruopattiin väylän rakentamisen yhteydessä pois. Mökkirannan ja väylän välisen vesialueen vesisyvyys vaihtelee 5–15 metrin välillä.

Mökkirannan venelaiturit sijaitsevat pienessä lahdessa. Rannassa on kaksi kiinteää laituria: pohjoisempi on massiivinen betonista valettu laituri (kuva 30) ja eteläisempi pohjaan massiivisin betonirenkain tuettu puurakenteinen laituri (kuva 31). Osaa mökkirannasta suojaa aallokolta kivirakenteinen aallonmurtaja (kuva 32). Vesisyvyys rannan tuntumassa ja laitureiden edustalla on 1–2 m, keskemällä lahtea syvyyttä on 2–3 metriä. Mökkirantaa käytetään veneiden säilytyksen lisäksi yleiseen oleskeluun ja uimiseen.



Kuva 30. Mökkirannan betonilaituri



Kuva 31. Mökkirannan puurakenteinen laituri



Kuva 32. Aallonmurtajan suojaama laguuni

4.4 Mittausselostus ja tulokset

4.4.1 Mittausten toteutus

Mittaukset toteutettiin maastossa kahdessa vaiheessa: kesäkuussa 2009 ja toukokuussa 2010. Viiden mittauspäivän aikana mitattiin ja havainnoitiin yli 50 aluksen ohitusten aikaisia vaikutuksia. Aivan kaikkien alusten vaikutuksia ei saatu yksilöityä, sillä osa aluksista saapui perätysten lyhyin väliajoin. Muutamasta aluksesta ei myöskään saatu teknisten ongelmien takia selville mittaustulosten analysoinnin kannalta kaikkia olennaisia tietoja, kuten nopeutta tai ajonai-kaista syväystä. Edellä mainituissa tapauksissa saadut mittaustulokset jätettiin tulosten ana-lysoinnissa huomioimatta.

Mittausten aikana tehtiin yhteistyötä Finnlines-varustamon kanssa. Varustamon Star-luokan suurten ropax-alusten toivottiin ohittavan mittausten aikana mittauskohteet tietyillä, ennalta määrätyillä nopeuksilla. Star-luokan alukset ovat tällä hetkellä Vuosaaren väylällä operoivista aluksista suurimpia. Muiden varustamoiden roro- ja konttialukset sekä Finnlines-varustamon roro-alukset liikkuvat mittausten aikana mittauskohteiden kohdalla ennalta määäämättömillä nopeuksilla. Nämä nopeudet olivat lähes poikkeuksetta hyvin lähellä väylän nykyisiä nopeusrajoituksia. Mittauskohteiden ohitusten aikaiset alusten nopeudet ja syväykset tarkistettiin jälki-käteen alusten ilmoittamista AIS-tiedoista VTS:n videotallenteiden ja meriliikennettä reaaliai-kaisesti seuraavan MarineTraffic -internetpalvelun (www.marinetraffic.com) kautta.

4.4.2 Kuiva Hevosen venesatama

Venesatamassa mitattiin kolmen päivän aikana (1 pv 2009, 2 pv 2010) yhteensä 28 alusohituk-sen aikaisia vaikutuksia. Kaikki alukset olivat joko ropax- tai roro-aluksia. Aluksista ajoi sisään 15 ja ulos 13. Mittausten aikaiset sääolosuhteet on esitetty taulukossa 2. Tuulitiedot saatiin Ilmatieteenlaitoksen Eestiluodon säähavaintoasemalta ja vedenkorkeustiedot Ilmatieteenlai-toksen Helsingin mareografilta.

Taulukko 2. Mittauspäivien sääolosuhteet

Mittauspäivä pvm	Tuulen nopeus (m/s)	Tuulen suunta	Tausta-aallokon korkeus (m)	Vedenkorkeus + – MW (cm)
25.6.2009	2–4	itä – kaakko	0,05 – 0,10	– 5 ... –13
10.5.2010	2–3	kaakko – etelä-lounas	0,10 – 0,15	–11 ... –16
11.5.2010	5–7	itä – koillinen	0,05 – 0,10	– 12 ... –15

Vedenpinnan korkeusvaihtelumittauksia tehtiin molempina vuosina, kun taas virtausmittauksia vain vuonna 2009 ja aaltomittauksia vain vuonna 2010. Eri vuosien mittaustuloksia vedenpin-nan korkeusvaihteluille voidaan pitää vertailukelpoisina, sillä mittauslaitteet olivat samat ja samoissa paikoissa, eivätkä eri mittauspäivien sää- tai vedenkorkeusolosuhteet poikenneet merkittävästi toisistaan.

Mittausten aikana Finnlines-varustamon Star-luokan ropax-aluksilla (Nordlink, Europalink, Finn lady) kokeiltiin seuraavia nopeuksia mittauskohteen kohdalla:

- 20 km/h
- 25 km/h
- 30 km/h (nykyinen nopeusrajoitus)
- 35 km/h.

Tarkoituksena nykyistä rajoitusta alhaisempien nopeuksien kokeilulle oli löytää nopeustaso, jolla alusten aiheuttama aalto- ja virtaushäiriö kohteessa olisi vähäistä. Tätä ”nollatasoa” suurempia nopeuksia kokeilemalla pyrittiin selvittämään haittavaikutusten riippuvuus alusnopeuksista. Nopeuksia valittaessa jouduttiin kuitenkin ottamaan huomioon seuraavat reunaehdot:

- nopeus ei saa olla niin alhainen, että alusten ohjailumahdollisuudet väylällä vaarantuvat
- nopeus ei saa olla niin suuri, että alusten aalto- ja virtausvaikutukset voivat aiheuttaa kohtuutonta haittaa ihmisille tai omaisuudelle.

Mittausten aikana mittauskohteen ohittaneet alukset teknisine tietoineen on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Alusten teknisiä tietoja (lähteet: Suomen kuvitettu laivaluettelo 2009, varustamoiden verkkosivut, www.wikipedia)

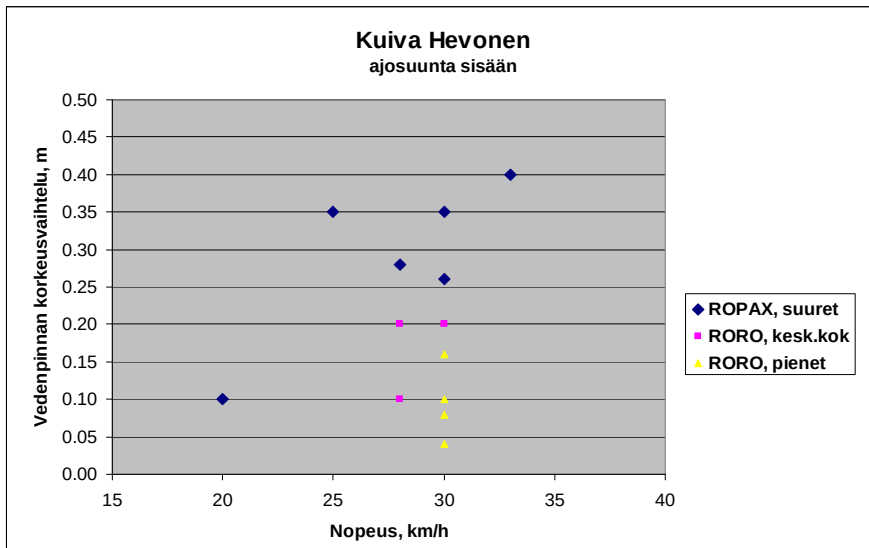
Alus	Tyyppi	Pituus (m)	Leveys (m)	Max.Syväys (m)	Ajonaikainen syväys Sisään / Ulos (m)	GT / NT (t)	DWT (t)
Nordlink	Ropax	218,8	30,5	7,0	6,5; 6,7 / 6,5; 6,7	45923 / 9653	9653
Superfast VII	Ropax	203,3	25,4	6,6	6,3 / 6,3	30285 / -	5915
Superfast VIII	Ropax	203,3	25,4	6,6	6,4 / 6,3	30285 / -	5915
Europalink	Ropax	218,8	30,5	7,0	6,7 / 6,7; 7,0	45923 / 9653	9653
Finnlady	Ropax	218,8	30,5	7,0	7,1 / 7,1	45923 / 9653	9653
Longstone	Ro-Ro	193,0	26,0	6,6	5,9 / -	23235 / 6971	10090
Finnpulp	Ro-Ro	187,1	26,5	6,9	6,5 / -	25654 / 7696	11746
Finnkraft	Ro-Ro	162,2	20,6	6,7	6,0 / 6,0	11530 / 3459	8700
Birka Trader	Ro-Ro	154,5	22,7	7,0	5,8 / -	12 251 / 3 676	8853
Birka Express	Ro-Ro	154,5	22,7	7,0	6,5 / -	12 251 / 3 676	8843
Ahtela	Ro-Ro	139,5	19,0	6,1	5,3; 5,4 / 5,4	8610 / 2710	6614
Translandia	Ro-Ro	135,5	21,7	6,1	5,2; 5,2; 5,3 / 5,2	13867 / 4161	4113

Vedenpinnan korkeusvaihtelu

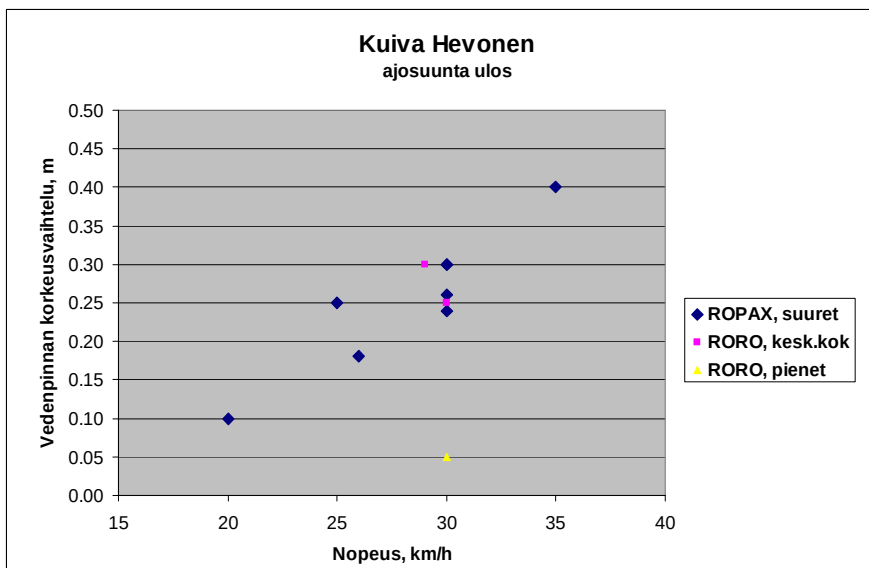
Mittausten aikana havaittu vedenpinnan korkeuden kokonaisvaihtelu on esitetty aluksen nopeuden funktiona kuvissa 33 (sisään) ja 34 (ulos). Erilaiset alukset on analysoinnin helpottamiseksi jaettu luokittain periaatteella

- suuret ropax-alukset (L > 200 m, B= 25–31 m)
- keskikokoiset roro-alukset (L= 150–200 m, B= 20–26,5 m)
- pienet roro-alukset (L= 130–140 m, B= 19–25 m).

Kuvissa 33 ja 34 ei ole erikseen esitetty vedenpinnan alenemaa eikä nousua, sillä niiden hajonta oli kohtalaisen suurta eri alusten välillä. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että vedenpinnan aleneman osuus oli tavallisesti 1/2 – 2/3 kokonaisvaihtelusta. Poikkeuksena mainittakoon Superfast VII ja Nordlink alukset, joiden ohitusten aikana vedenpinnan nousu oli yli kaksinkertainen alenemaan verrattuna alusten ajaessa sisään.



Kuva 33. Vedenpinnan korkeusvaihtelu nopeuden funktiona, ajosuunta sisään



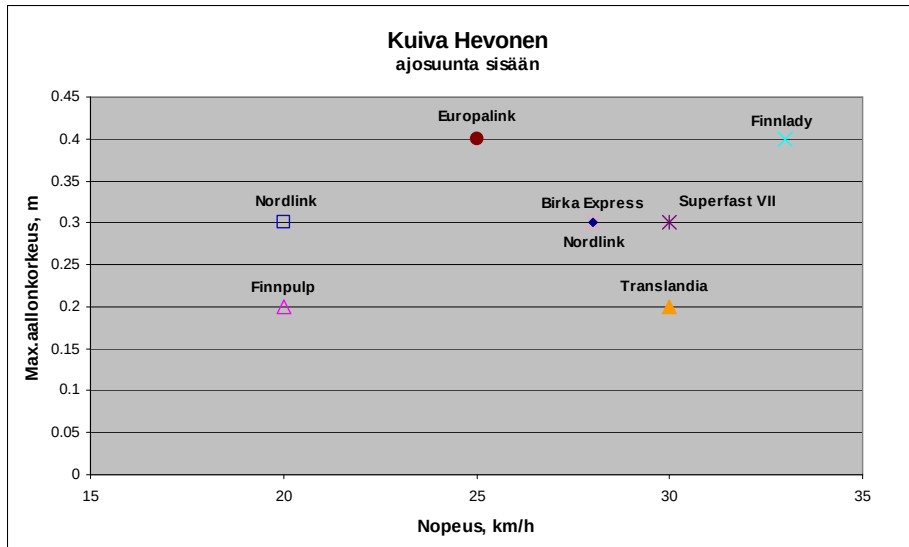
Kuva 34. Vedenpinnan korkeusvaihtelu nopeuden funktiona, ajosuunta ulos

Kuvista 33 ja 34 voidaan selvästi havaita suurten ropax-alusten aiheuttamien vedenpinnan korkeusvaihtelun riippuvan alusten ohitusten aikaisista nopeuksista. Tämä riippuvuus näyttäisi olevan tällä nopeusvälillä lähes lineaarinen. Alusnopeuksilla 33–35 km/h vedenpinnan korkeusvaihtelu on noin nelinkertaista 20 km/h nopeuteen verrattuna. Vedenpinnan korkeusvaihtelu ei sen sijaan näyttäisi olevan tässä mittauskohteessa riippuvainen aluksen ajosuunnasta. Korkeusvaihtelu on likimain samaa luokkaa sekä sisään että ulos ajettaessa.

Kuvaa 33 tarkastelemalla voidaan havaita myös aluksen koolla olevan merkittävä vaikutus vedenpinnan korkeusvaihtelun suuruuteen. Suuret ropax-alukset aiheuttavat merkittävästi suuremman korkeusvaihtelun kuin pienet ro-ro-alukset ja hieman suuremman vaihtelun kuin keskikokoiset ro-ro-alukset. Mielenkiintoinen havainto mittauksen aikana oli, että keskikokoiset ro-ro-alukset Birka Trader ja Finnkraft aiheuttivat ulos ajaessaan likimain samansuuruisen vedenpinnan korkeusvaihtelun kuin vastaavilla nopeuksilla ajaneet suuret ropax-alukset. Tämä voidaan havaita kuvasta 34.

Aallot

Kuten luvussa 3 todettiin, alusten aallonmuodostus on hyvin aluskohtaista. Tämän vuoksi kuvassa 35 esitetyt, aaltomittauksissa havaitut maksimiaallonkorkeudet on yksilöity jokaiselle alukselle erikseen (vrt. kuvat 33 ja 34). Kuvassa 35 on esitetty aluksen aiheuttama maksimiaallonkorkeus aluksen nopeuden funktiona. Huomattavaa on, että aaltovaikutus ulottui rannan muodosta johtuen venesatamaan saakka ainoastaan alusten ajaessa sisään.



Kuva 35. Maksimiaallonkorkeus nopeuden funktiona

Suurimmat laiva-aallot havaittiin suurten ropax-alusten ohitusten aikana, jolloin maksimiaallonkorkeudet olivat 0,3–0,4 m ja vastaavat periodit 2–3 s. Pienten ja keskikokoisten roro-alusten aiheuttamat maksimiaallonkorkeudet olivat 0,2–0,3 m ja vastaavat periodit 1,5–3,0 s. Lähes kaikilla aluksilla oli havaittavissa 2–3 aaltoryhmää, joista ensimmäinen (keula-aallot) oli tyypillisesti voimakkain.

Kuvassa 35 esitettyjen mittaustulosten perusteella ei ole mahdollista tehdä suoraa johtopäätöstä alusnopeuksien vaikutuksesta laiva-aallon korkeuteen. Lähteen Merenkululaitos (2005) mukaan maastossa tehtyjen aaltomittausten perusteella ei ole edes tarkoituksenmukaista tehdä pidemmälle meneviä johtopäätöksiä. Luonnonoloissa laiva-aaltojen kulkeutumiseen vaikuttaa useita häiriötekijöitä, mikä johtaa mittaustulosten suureen hajontaan. Nopeuden vaikutusta laiva-aallon korkeuteen on järkevämpää arvioida mallikoetulosten perusteella.

Virtaukset

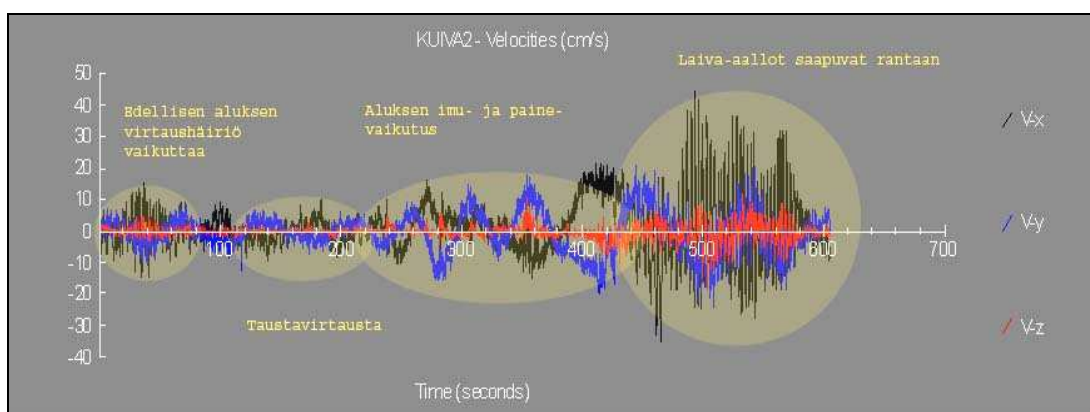
Virtausnopeuksia mitattiin pohjan tuntumassa, noin 15 cm pohjan yläpuolella, lähellä venesataman suuta olevan laiturin edustalla. Vesisyvyys mittauskohdassa oli noin 1,5 m. ADV:lla mitattiin alusten ohitusten aikaisten virtausnopeuksien lisäksi tasaisin väliajoin taustavirtausnopeuksia. Näin saatiin käsitys alusten aiheuttamasta virtaushäiriöstä suhteessa luonnon taustavirtauksiin.

Alusten ajaessa sisään suurimmat virtausnopeudet havaittiin tyypillisesti aluksen ohituksen jälkeen laiva-aaltojen saapuessa rantaan. Osassa mittauksista virtausnopeuksien maksimit havaittiin aluksen ollessa suoraan mittauskohteen kohdalla väylällä. Suurimmat virtausnopeudet mitattiin suurten ropax-alusten ohitusten aikana. Näiden alusten uppoumavirtausten aikaisten maksimivirtausnopeudet vaihtelivat välillä 25–48 cm/s. Laiva-aaltojen saapuessa rantaan ADV

rekisteröi maksimivirtausnopeuksia 45–55 cm/s. Alusten ajaessa ulos suurimmat virtausnopeudet havaittiin alusten ollessa suoraan mittauskohteen kohdalla väylällä. Virtausnopeudet vaihtelivat tällöin suurten ropax-alusten ohitusten aikana välillä 23–60 cm/s.

Verrattaessa ropax-alusten alusten ohitusten aikaisia maksimivirtausnopeuksia mitattuihin taustavirtausnopeuksiin voidaan todeta, että alukset aiheuttivat 5–10 kertaisia virtausnopeuksia taustavirtausten vastaaviin nopeuskomponentteihin verrattuna. Pienten roro-alusten ohitusten aikana mitatut virtausnopeudet eivät merkittävästi poikenneet mitatuista taustavirtausnopeuksista kummassakaan ajosuunnassa. Suurimmat virtausnopeudet näiden alusten ohitusten aikana mitattiin sisäänajossa laiva-aaltojen saapuessa rantaan. Tällöin suurimmat virtausnopeudet vaihtelivat välillä 8–14 cm/s.

Kuvassa 36 on WinAdv-ohjelman esimerkkituloste ADV:n rekisteröimistä aluksen ohituksen aikaisista virtausnopeuksista ajan funktiona. Kuvan tuloste on ropax-alus Europolinkin sisäänajon aikaisista virtausnopeuksista. Kuvaan on lisätty selitteet havainnollistamaan eri aikavälien tapahtumia.



Kuva 36. Esimerkkituloste Europolink-aluksen ohituksen aikaisista virtausnopeuksista

Kuvaa 36 tarkasteltaessa havaitaan aluksen aiheuttavan selvän virtausnopeuksien kasvun taustavirtausnopeuksiin verrattuna. Aluksen aiheuttamien uppoumavirtausten suunta (imu- ja painevaikutus) vaihtelee useita kertoja edes takaisin aluksen ohituksen aikana. Tulosteessa x-nopeuskomponentin positiivinen suunta on mereltä satamaan päin, y-komponentti on rannan suuntainen ja z-komponentti vertikaalinen. Mittausten aikana vedenpinta tyypillisesti nousi ja laski 2–3 kertaa virtaussuunnan vaihtuessa alusten liikkuesssa eri kohdilla väylää. Alusten aiheuttamat pyörteiset virtaukset venesatamassa jatkuivat vielä useita minuutteja aluksen ohituksen jälkeen.

4.4.3 Krokholmenin mökkiranta

Krokholmenin länsipuolen mökkirannassa mitattiin kahden mittauspäivän aikana (1 pv 2009, 1 pv 2010) yhteensä 27 alusohituksen aikaisia vaikutuksia. Alukset olivat suuria ropax-aluksia sekä pieniä ja keskikokoisia roro- ja konttialuksia. Aluksista 17 ajoi sisään ja 10 ulos.

Mittausten aikaiset sääolosuhteet on esitetty taulukossa 4. Tuulitiedot saatiin Ilmatieteenlaitoksen Eestiluodon säähavaintoasemalta ja vedenkorkeustiedot Ilmatieteenlaitoksen Helsingin mareografilta.

Taulukko 4. Mittauspäivien sääolosuhteet

Mittauspäivä pvm	Tuulen nopeus (m/s)	Tuulen suunta	Tausta-aallokon korkeus (m)	Vedenkorkeus + – MW (cm)
29.6.2009	2–3	länsi	0.05–0.10	– 11 ... –15
18.5.2010	3–5	itä – koillinen	0.00–0.05	– 3 ... – 8

Kuiva Hevosen venesataman mittauksen tavoin vedenpinnan korkeusvaihtelumittauksia tehtiin molempina vuosina, kun taas virtausmittauksia vain vuonna 2009 ja aaltomittauksia vain vuonna 2010.

Mittauksen aikana Finnlinesin Star-luokan ropax-aluksilla (Nordlink, Europolink, Finnstar) kokeiltiin seuraavia nopeuksia mittauskohteen kohdalla:

- 17 km/h (nykyinen nopeusrajoitus)
- 20 km/h
- 24 km/h.

Krokholmenin mökkirannassa haittavaikutusten niin sanottu nollataso (nykyinen nopeusrajoitus) oli arvioitu jo esiselvityksen perusteella (Kerkelä 2008). Tästä syystä mittauksissa kokeiltiin vain nykyistä rajoitusta suurempia nopeuksia. Suurin mittauksen aikana kokeiltu nopeus, 24 km/h oli luotsien ja alusten päälliköiden toivoma vähimmäisnopeus kyseiselle väyläosalle.

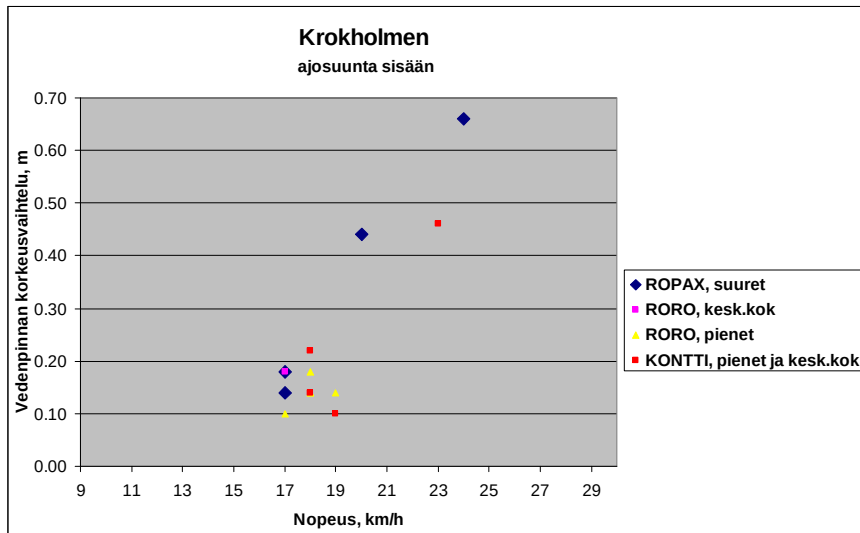
Mittauksen aikana mittauskohteen ohittaneet alukset teknisine tietoineen on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Alusten teknisiä tietoja (lähteet: Suomen kuvitettu laivaluettelo 2009, varustamoiden verkkosivut, www.wikipedia)

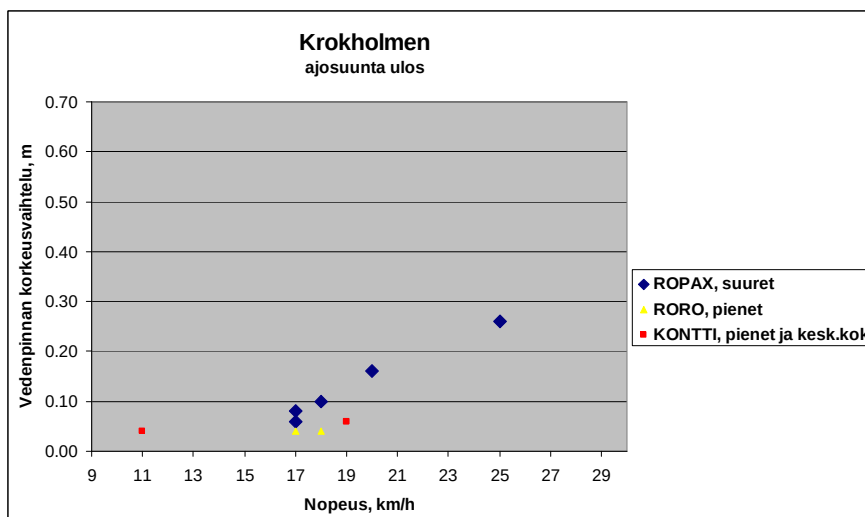
Alus	Tyyppi	Pituus (m)	Leveys (m)	Syväys (max.) (m)	Ajonaikainen syväys Sis / Ulos (m)	GT / NT (t)	DWT (t)
Nordlink	Ropax	218,8	30,5	7,0	- / 6,5	45923 / 9653	9653
Europolink	Ropax	218,8	30,5	7,0	7,1 / 6,8	45923 / 9653	9653
Finnstar	Ropax	218,8	30,5	7,0	7,1 / -	45923 / 9653	9653
Finnmaid	Ropax	218,8	30,5	7,0	7,0 / 7,0	45923 / 9653	9653
Superfast VII	Ropax	203,3	25,4	6,6	6,5; 6,2 / 6,2; 6,3	30285 / -	5915
Finnkraft	Ro-Ro	162,2	20,6	6,7	6,4 / 5,7	11530 / 3459	8700
Birka Trader	Ro-Ro	154,5	22,7	7,0	5,8 / -	12 251 / 3 676	8853
Ahtela	Ro-Ro	139,5	19,0	6,1	5,3 / 5,3	8610 / 2710	6614
Fellow	Ro-Ro	137,3	24,6	6,1	6,2 / -	6304 / -	-
Translandia	Ro-Ro	135,5	21,7	6,1	5,2; 5,3 / 5,2; 5,3	13867 / 4161	4113
Containership VI	Container	154,5	21,8	8,9	6,1 / -	9953 / 5284	13645
Slepner	Container	140,6	21,8	7,3	6,0 / -	7852 / 3363	9322
Ragna	Container	100,0	19,0	5,1	5,1 / 5,1	-	5215
Henneke Rambow	Container	134,0	22,0	7,2	7,2 / -	-	11400
Hercules J	Container	151,7	23,4	8,0	- / 6,4	10585 / 7352	10585

Vedenpinnan korkeusvaihtelu

Alusten ohitusten aikaiset vedenpinnan korkeuden kokonaisvaihtelut mökkirannassa eteläisemmän laiturin edustalla on esitetty nopeuden funktiona kuvissa 37 (ajosuunta sisään) ja 38 (ajosuunta ulos). Erilaiset alukset on analysoinnin helpottamiseksi jaettu luokkiin samalla periaatteella kuin edellä esitellyissä Kuiva Hevosen mittauksissa. Uutena luokkana Krokholmenin mittauksissa ovat pienet ja keskikokoiset konttialukset (L=100–150 m, B= 19–23,5 m).



Kuva 37. Vedenpinnan korkeusvaihtelu nopeuden funktiona, ajosuunta sisään



Kuva 38. Vedenpinnan korkeusvaihtelu nopeuden funktiona, ajosuunta ulos

Kuvan 37 perusteella on ilmeistä, että alusnopeuden pienikin kasvu sisäänajossa lisää vedenpinnan korkeusvaihtelua todella merkittävästi. Alhaisilla nopeuksilla, 17–19 km/h, vedenpinnan korkeusvaihtelu on vähäistä kaikilla aluksilla. Suurilla ropax-aluksilla vedenpinnan korkeusvaihtelu sisäänajossa 20 km/h nopeudella on likimain kolminkertaista 17 km/h nopeuteen verrattuna. Nopeudella 24 km/h vedenpinnan korkeusvaihtelu on jo lähes 0,70 m.

Kuvia 37 ja 38 vertailemalla huomataan, että myös aluksen ajosuunnalla on merkittävä vaikutus vedenpinnan korkeusvaihtelun suuruuteen tässä mittauskohteessa. Alusten ajaessa sisään korkeusvaihtelu on huomattavasti suurempaa kuin alusten ajaessa vastaavilla nopeuksilla ulos. Sisäänajossa suurten ropax-alusten aiheuttama vedenpinnan korkeusvaihtelu oli jopa kolminkertaista ulosajoon verrattuna.

Aallot

Mökkiranta on melko hyvin suojassa sisään satamaan ajavien alusten aalloilta. Voimakkain aaltovaikutus kohdistuu rantaan alusten ajaessa ulos satamasta. Mittauksissa havaitut suurimmat laiva-aallot olivat sisäänajossa korkeudeltaan 0,1 m ja periodiltaan 1–2 s. Alusten ajaessa ulos suurimmat havaitut aallot olivat korkeudeltaan 0,1–0,2 m ja periodiltaan 1–3 s. Mittauksissa

havaitut suurimmat aallot aiheutti ropax-alus Finnmaid ajaessaan ulos nopeudella 25 km/h. Tällöin maksimiaallonkorkeus oli 0,2 m ja vastaava periodi 2-3 s.

Virtaukset

Virtausnopeuksia mitattiin pohjan tuntumassa, noin 15 cm pohjan yläpuolella mökkirannan eteläisemmän laiturin edustalla. Vesisyvyys mittauskohdassa oli noin 1,5 m. Suurimmat virtausnopeudet havaittiin molemmissa ajosuunnissa alusten ollessa joko suoraan mittauskohteen kohdalla väylällä tai alusten ollessa poistumassa kohteen ohi.

Alusten ajaessa sisään suurimmat virtausnopeudet mitattiin suurten ropax-alusten ohitusten aikana nopeusalueella 17–24 km/h. Tällöin ADV rekisteröi 18–52 cm/s virtausnopeuksia. Mitatut maksimivirtausnopeudet olivat taustavirtausten vastaaviin nopeuskomponentteihin verrattuna 4–5 kertaisia. Pienet ja keskikokoiset roro- ja konttialukset eivät aiheuttaneet merkittäviä virtausnopeuksia taustavirtausnopeuksiin verrattuna. Poikkeuksena mainittakoon 23 km/h nopeudella sisään ajanut keskikokoinen konttialus, jonka ohituksen aikana mitattiin 18–34 cm/s virtausnopeuksia.

Alusten ajaessa ulos suurimmat virtausnopeudet mitattiin suuren ropax-aluksen ja keskikokoisen konttialuksen ohitusten aikana nopeusvälillä 17–20 km/h, jolloin ADV rekisteröi 5–11 cm/s virtausnopeuksia. Mitatut virtausnopeudet eivät merkittävästi poikenneet taustavirtausten vastaavista nopeuskomponenteista alusten ajaessa ulos.

4.5 Mittaustulosten arviointia

Kuiva Hevosen venesatama

Kuiva Hevosen eteläpuolen venesatamassa havaitut vedenpinnan korkeusvaihtelut riippuivat odotetusti alusten koosta ja ajonopeudesta. Alusten ajosuunnalla ei sen sijaan näyttänyt olevan merkitystä. Aluskoon ja ajonopeuden kasvaessa myös vedenpinnan korkeusvaihtelu lisääntyi. Pienet roro-alukset eivät aiheuttaneet merkittäviä vedenpinnan korkeusvaihteluita noin 30 km/h nopeuksilla. Suurilla ropax-aluksilla taas vedenpinnan korkeusvaihtelu oli kohtalaisen suurta jo 25 km/h nopeuksilla. Suurilla ropax-aluksilla nopeuden vaikutus vedenpinnan korkeusvaihteluun oli mittausten aikaisilla alusnopeuksilla lähes lineaarinen: jokaista 5 km/h nopeuden lisäystä kohden korkeusvaihtelu lisääntyi likimain 0,1 m.

Mittauksissa havaittujen suurimpien laiva-aaltojen korkeudet olivat nopeusalueella 25–35 km/h (noin 13–19 solmua) 0,2–0,4 m. Kun otetaan huomioon alusten nopeudet ja väylän vesisyvyys, voidaan todeta, että alukset liikkuivat mittausten aikana väylällä Frouden luvuilla $F_{NH}=0,4-0,6$. Kun otetaan lisäksi huomioon aallonkorkeuden kasvu aallon saapuessa matalaan veteen sekä aallon tulokulma ja sitä kautta laskettu kulkeutumismatka mittauskohteeseen, voidaan sivulla 26 olevan yhtälön 13 aallon vaimentumiselle ($d=-1/3$ eroaville aalloille) arvioida laiva-aaltojen olleen syntyhetkellään korkeudeltaan 0,5–0,8 m. Verrattaessa näitä arvioita sivuilla 29–30 esitettyihin mallikoetuloksiin alusten aallonmuodostuksesta, havaitaan mallikoealusten aiheuttaneen samaa luokkaa olevia aallonkorkeuksia nopeusvälillä 12–19 solmua (n. 22–35 km/h). Tämä vastaa hyvin mittausten aikaisia alusnopeuksia.

Tuuliolosuhteet mittausten aikana olivat kohtalaisen tyynet, eikä luonnonaallokko arvioiden mukaan merkittävästi vaimentanut laiva-aaltoja niiden kulkeutuessa väylältä mittauskohteeseen. Tuulennopeuden ja sitä kautta luonnonaallokon korkeuden ollessa mittausten aikaista suurempaa, alusten aiheuttamat aallot voivat luonnonaallokon vaikutuksesta vaimentua. Tällöin rannan tuntumassa laiva-aallot voivat olla mittauksissa havaittuja vaimeampia. Luon-

nonaallokon vaimentava vaikutus riippuu sen voimakkuudesta ja suunnasta suhteessa laiva-aaltoihin.

Virtausnopeusmittauksissa havaittiin suurimpien alusten aiheuttavan jopa 10-kertaisia virtausnopeuksia mitattuihin luonnon taustavirtausnopeuksiin verrattuna. Suurimpien alusten ohitusten aikaisia maksimivirtausnopeuksia 45–60 cm/s verrattaessa esimerkiksi lähteen Rytkönen et al. (2001) mittaamiin maksimivirtausnopeuksiin vastaavankaltaisissa mittauksissa voidaan todeta, että Vuosaarella mitatut virtausnopeudet olivat tätä samaa luokkaa. Rytkönen et al. (2001) havaitsi Turun Airistolla Suomen ja Ruotsin välisen autolauttaliikenteen aiheuttavan Turkuun johtavan väylän varrella maksimissaan 40–50 cm/s virtausnopeuksia. Näissä mittauksissa mittauskohteiden ja väylän välinen etäisyys oli 550–650 m. Vuosaaren mittauksissa pienempien roro- ja konttialusten ei todettu aiheuttavan merkittävästi luonnon taustavirtausnopeuksista poikkeavia virtausnopeuksia. Mittausten aikaiset tuuliolosuhteet olivat kohtalaisen tyynet ja luonnonaallokko vaimeaa. Alusten aiheuttaman virtaushäiriön merkitys suhteessa luonnonvirtauksiin luonnollisesti vähenee kovemmilla tuulilla ja sitä kautta suuremmilla luonnonvirtausnopeuksilla.

Vedenpinnan korkeusvaihteluille tai laiva-aalloille ei voida määrittää mitään yleispäteviä raja-arvoja, joiden ylittyessä venesatamien tai rantojen käyttö vaikeutuisi. Jokaista rantaa ja venesatamaa on tarkasteltava erikseen omine erityispiirteineen ja arvioitava alusten aiheuttaman haitan vaikuttavuutta paikallisissa olosuhteissa. Rannan tai venesataman käyttötarkoituksen, laiturityyppien, suojaisuusominaisuuksien sekä pohja- ja syvyysolosuhteiden perusteella voidaan arvioida, kuinka suuret vedenpinnan korkeusvaihtelut tai aallot kohde vielä kestää käyttötarkoituksen mukaisen käytön oleellisesti vaikeutumatta.

Kuiva Hevosen venesatama on luonnonsatama, minkä vuoksi se ei sovellu veneiden säilytykseen yhtä hyvin kuin esimerkiksi ruoppaamalla syvennetty ja aallonmurtajilla suojattu satama. Satama on osittain suojaton etelän ja lännen puoleisille tuulille ja aallokelle. Laitureiden edustoilla vesisyvyys on pieni ja laiturit kiinteitä, jolloin suhteellisen pienetkin vedenpinnan korkeusvaihtelut voivat aiheuttaa haittaa kiinnitetyille veneille satamassa.

Mittausten aikaisten havaintojen perusteella voidaan laiva-aalloille ja vedenpinnan korkeusvaihteluille määrittää karkeat raja-arvot, joilla aaltojen ja vedenpinnan korkeusvaihteluiden ei odoteta vielä aiheuttavan kohtuutonta haittaa venesataman käytölle veneiden säilytykseen tai rannan virkistyskäytölle.

Raja-arvot:

- Vedenpinnan korkeusvaihtelut
 - max. 0,20–0,30 m
- Aallonkorkeus
 - max. H= 0,30 m

Näitä raja-arvoja tarkasteltaessa on huomattava, että luonnollisen vedenkorkeuden ollessa keskimääräistä alempana, vedenpinnan korkeusvaihteluiden aiheuttamat haittavaikutukset voivat alkaa jo esitettyjä raja-arvoja aikaisemmin. Luonnollisen vedenkorkeuden ollessa taas keskimääräistä ylempänä, tilanne on päinvastainen. Lisäksi on muistettava, että raja-arvot ovat vain mittaushenkilöstön havaintoihin perustuvia arvioita.

Venesatamaan kohdistuvia alusliikenteen aiheuttamia haittavaikutuksia arvioitaessa on huomattava, että myös tuulen nostattama luonnonaallokko voi vaikeuttaa sataman käyttöä, jos satamaa ei ole riittävästi suojattu esimerkiksi aallonmurtajin. Kun alusten aiheuttamia mittauk-

sisä havaittuja aaltoja rannan tuntumassa verrataan teoreettisiin tarkastelun perusteella saatuihin arvioihin luonnonaallokosta, voidaan todeta, että suurimmatkin laiva-aallot vastaisivat korkeudeltaan ja periodiltaan lounaasta 5–10 m/s puhaltavan tuulen nostattamaa luonnonaallokkoa. Luonnonaallokon aallonkorkeuden ja periodin arvioinnissa on käytetty merikartalta mitatun, tuulen vapaan pyyhkäisymatkan pituutena 6 km lounaaseen. Toisaalta on muistettava, että aallon korkeus ja periodi eivät ole ainoita aaltojen vaikutuksiin sidoksissa olevia tekijöitä. Laiva-aallot voivat kulkeutua luonnonaaltoja voimakkaammin satamaan suuremman kulkeutumisnopeutensa ja sitä kautta suuremman energiansa vuoksi.

Maastotutkimustulosten perusteella voidaan määrittää eri alustyyppien suurimmat mahdolliset kohteen ohitusnopeudet, joilla edellä esitettyjen raja-arvojen laiva-aaltojen korkeudelle ja vedenpinnan korkeusvaihtelulle satamassa ei odoteta ylittyvän. Raja-arvoja vastaavien alusnopeuksien suuruusluokka eri alustyypeille on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Raja-arvoja vastaavat alusnopeudet

Kuiva Hevonen, venesatama		
Alustyyppi	Suurin nopeus, km/h (solmua)	
	<i>Sisään</i>	<i>Ulos</i>
Suuret ropax-alukset	20 (11)	25–30 (14–16)
Keskikokoiset roro-alukset	30 (16)	30 (16)
Pienet roro-alukset	yli 30 (16)	yli 30 (16)
Konttialukset	arvio 30 (16)	arvio 30 (16)

Krokholmenin mökkiranta

Krokholmenin mittaushaasteissa vedenpinnan korkeusvaihtelu alusten ohitusten aikana oli hyvin voimakkaasti riippuvainen alusten ohitusnopeuksista erityisesti alusten ajaessa sisään. Pienikin nopeuden kasvattaminen lisäsi vedenpinnan korkeusvaihtelua todella voimakkaasti. Nopeuksilla 17–20 km/h vedenpinnan korkeusvaihtelu oli pienillä ja keskikokoisilla roro- ja konttialuksilla vähäistä molemmissa ajosuunnissa. Suurilla ropax-aluksilla korkeusvaihtelu oli vielä 17 km/h nopeudella vähäistä, mutta jo 20 km/h nopeudella se oli kohtalaisen suurta alusten ajaessa sisään.

Vedenpinnan korkeusvaihtelu sisään- ja ulosajossa poikkesi huomattavasti toisistaan. Sisään ajaneen alusliikenteen aiheuttama vedenpinnan korkeusvaihtelu oli lähes kolminkertaista vastaavilla nopeuksilla ulos ajaneeseen liikenteeseen verrattuna. Tämä johtui todennäköisesti Krokholmenin edustalla olevan ruopatun alueen (kuva 39) ja sitä ympäröivän vapaan vesialueen erilaisesta muodosta eri suunnista lähestyttäessä.

Merkittävä huomio mittausten aikana oli myös se, että pientenkin alusten aiheuttamat vedenpinnan korkeusvaihtelut voivat olla suhteellisen suuria aluksen kokoon nähden, jos alukset hyljyvät nopeuttaan sisään ajaessaan vasta ruopatun alueen kohdalla. Tässä nykyinen nopeusrajoitus vaihtuu nopeudesta 30 km/h nopeuteen 17 km/h. Jos nopeusrajoituksen vaihtumiskohdalla sijaitisi jo ennen ruoppausaluetta, alusten uppoumavirtausten aiheuttama imu- ja painevaihtelu ehtisi todennäköisesti paremmin tasaantua. Tämä taas voisi johtaa maltillisempiin vedenpinnan korkeusvaihteluihin Krokholmenin rannoilla sisäänajossa.

Taulukko 7. Raja-arvoja vastaavat alusnopeudet

Krokholmen, mökkiranta		
Alustyyppi	Suurin nopeus km/h (solmua)	
	<i>Sisään</i>	<i>Ulos</i>
Suuret ropax-alukset	17–18 (9–10)	25 (14)
Keskikokoiset roro-alukset	17–19 (9–10)	arvio 25 (14)
Pienet roro-alukset	20–25 (11–14)	25–30 (14–16)
Konttialukset	17–19 (9–10)	25–30 (14–16)

4.6 Arviointiyhteenvedo alusten aiheuttamista hättäväsikuteuksista väylän varrella

Vuosaaren väylän alusliikenteen aallonmuodostuksen ja uppoumavirtausten aiheuttamista hättäväsikuteuksista saarten rannoilla ja venesatamissa tehtiin arviointiyhteenvedo, johon kerättiin maastomittausten aikaiset havainnot ja arviot alusliikenteen vaikutuksista kaikkien väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla. Vaikutusten arviointi tehtiin alusten aallonmuodostuksen teoreettisen tarkastelun, VTT:n mallikoetulosten sekä kirjallisuudesta löydettyjen ja tämän työn aikaisten maastotutkimusten pohjalta. Kaikille kohteille pyrittiin arvioimaan väylältä kantautuvien laiva-aaltojen vesien käyttöön kohdistuvia vaikutuksia ja niiden suhdetta luonnonaallokon vaikutuksiin. Arvioinnissa pyrittiin myös kartoittamaan kohteet, joissa alusten uppoumavirtausten aiheuttamat vedenpinnan korkeusvaihtelut voisivat olla merkittäviä.

Itä- ja länsitoukin luodot

Luodot sijaitsevat ulkosaaristossa avomeren läheisyydessä nykyisen nopeusrajoitusalueen ulkopuolella. Alukset ohittavat saariryhmän arviolta 30–45 km/h (16–24 solmua) nopeuksilla alustyyppistä riippuen. Tällä nopeusalueella alusten aiheuttamien aaltojen maksimikorkeudet Itätoukin väylän puoleisella rannalla vaihtelevat arvioiden mukaan välillä 0,3–0,6 m ja kauempana väylästä olevalla Länsitoukin rannalla välillä 0,1–0,4 m. Luodot ovat suojattomia kaikista suunnista puhaltaville tuulille ja luonnon aallokille. Alusten aiheuttamien rantaan kantautuvien aaltojen voidaan arvioida vastaavan suurimmillaankin noin 5 m/s puhaltavan tuulen nostattamaa luonnon aallokkoa.

Väylän alusliikenteen aiheuttamat aallot voivat joissakin tapauksissa aiheuttaa hättää luotojen rannoille riittämättömästi tai sopimattomaan paikkaan kiinnitetyille pienveneille. Alusten aiheuttamat aallot eivät arvioiden mukaan kuitenkaan eroa vaikutuksiltaan suhteellisten heikkojen tuulten aiheuttaman luonnonaallokon vaikutuksesta. Tilanteessa, jossa keli on tyyni ja luonnonaallokko vaimeaa, väylältä kantautuvat laiva-aallot voivat yllätyksellisyydellään aiheuttaa ongelmia veneiden kiinnitykselle, jos veneilijät eivät osaa varautua laiva-aaltojen mahdollisuuteen.

Eestiluoto

Saariryhmä sijaitsee nykyisen nopeusrajoitusalueen ulkopuolella. Alukset ohittavat saariryhmän arviolta 30–45 km/h (16–24 solmua) nopeuksilla alustyyppistä riippuen. Tällä nopeusalueella alusten aiheuttamien aaltojen maksimikorkeudet saariryhmän väylän puoleisilla rannoilla vaihtelevat arvioiden mukaan välillä 0,3–0,6 m. Saariryhmä sijaitsee ulkosaaristossa ja on suojatun kaikista suunnista puhaltaville tuulille ja luonnonaallokille. Alusten rantaan kantautuvien aaltojen voidaan arvioida vastaavan korkeutensa puolesta enimmillään 5–7 m/s puhaltavan tuulen nostattamaa aallokkoa tuulen suunnasta riippuen. Laiva-aaltojen periodit voivat olla vastaavan korkuisen luonnonaallokon periodeja hieman suurempia.

Saariryhmän väylän puoleisilla rannoilla ei voi säilyttää veneitä, sillä jo melko heikkojen tuulten aiheuttama luonnonaallokko käy veneiden säilytyksen kannalta liian voimakkaaksi. Väylältä saariryhmän rannoille kantautuvat laiva-aallot eivät arvioiden mukaan eroa vaikutuksiltaan luonnonaallokon vastaavista vaikutuksista.

Kuiva Hevonen

Saari sijaitsee nykyisellä 30 km/h (16 solmua) nopeusrajoitusalueella. Nopeusalueella 25–35 km/h (13,5–19 solmua) alusten aiheuttamien aaltojen maksimikorkeudet eteläpuolen venesataman suulla vaihtelevat arvioiden mukaan välillä 0,2–0,5 m. Vastaavat arviot maksimaalisille aallonkorkeuksille saaren pohjoisrannalla kauppalaiturin edustalla ovat 0,2–0,4 m. Maastomittauksissa havaitut maksimaaliset aallonkorkeudet eteläpuolen venesataman suulla vaihtelivat sisään ajettaessa välillä 0,2–0,4 m. Voidaan olettaa, että saaren pohjoisrantaan kauppalaiturin edustalle kantautuvat aallot ovat tätä samaa luokkaa tai vaimeammat, sillä aaltojen kulkeutumismatka väylältä pohjoisrannalle on eteläpuoleen verrattuna pidempi. Voimakkain aaltovaikutus kohdistunee lähimpänä väylää olevan saaren luoteiskärkeen, jossa ei ole asutusta eikä venelaitureita. Saaren luoteisosassa rannan tuntumassa maksimiaallonkorkeudet vaihtelevat arvioiden mukaan välillä 0,2–0,6 m.

Alusten aiheuttamien, saaren eteläpuolen venesatamaan kulkeutuvien suurimpien laiva-aaltojen voidaan arvioida korkeutensa puolesta vastaavan 5–10 m/s nopeudella suunnasta SW puhaltavan tuulen nostattamaa luonnonaallokkoa. Vastaavat arviot ovat pohjoisrannan kauppalaiturin edustalla 5–10 m/s ja luoteisrannalla 5–12 m/s nopeudella suunnista N tai NW puhaltaville tuulille. Laiva-aaltojen periodit voivat olla vastaavan korkuisen luonnonaallokon periodeja hieman suurempia.

Nopeusalueella 20–35 km/h vedenpinnan korkeusvaihtelut alusten ohitusten aikana eteläpuolen venesatamassa vaihtelivat maastomittausten havaintojen perusteella suurimmilla aluksilla sekä sisään että ulos ajettaessa välillä 0,1–0,4 m. Saaren pohjoispuolen rannoilla kauppalaiturin tuntumassa vedenpinnan korkeusvaihtelut ovat arvioiden mukaan vähäisiä, sillä väylän ja pohjoisrannan välinen etäisyys on suuri ja myös rantojen vesisyvyys on kohtalaisen suuri.

Maastomittausten havaintojen perusteella erityisesti väylällä kulkevat suuret alukset voivat aallonmuodostuksellaan ja uppoumavirtauksillaan aiheuttavaa haittaa saaren eteläpuolen venesataman käytölle. Satamasta puuttuu koko satama-alueen suojaava aallonmurtaja. Satama-alueen vesisyvyys venelaiturien edustoilla on niin pieni, että jo vähäisetkin vedenpinnan korkeusvaihtelut voivat vaikeuttaa veneiden säilyttämistä satamassa. Alusten aiheuttamat aallot ja virtaukset saaren eteläpuolen ranta-alueella voivat myös haitata ranta-alueiden virkistyskäyttöä.

Väylältä saaren pohjoisrannalle kantautuvat laiva-aallot ovat arvioiden mukaan samaa suuruusluokkaa tai vaimeampia kuin eteläpuolen venesataman tilanteessa. Laiva-aallot kantautuvat pohjoisrannalle kauppalaiturin tuntumaan vain alusten ajaessa ulos satamasta. Veneitä ei voi säilyttää turvallisesti pohjoisrannan rantalaitureissa, sillä rannan edustalla on avointa selkää, jolloin jo suhteellisen heikkojen tuulten aiheuttama luonnonaallokko estää turvallisen veneiden säilyttämisen rantaviivalla. Pohjoisrannan edustalla kulkee myös Etelä-Suomen talvi-väylä, jolla liikkuvat huvi- ja työalukset voivat aallonmuodostuksellaan aiheuttaa haittaa rantalaitureihin kiinnitetyille veneille. Pohjoisrannalla veneitä voidaan säilyttää turvallisesti rannan edustalla poijuihin kiinnitettyinä.

Vaikka väyläosan nykyistä 30 km/h nopeusrajoitusta laskettaisiin esimerkiksi rajoitukseen 25 km/h, alusten aallonmuodostuksesta ja uppoumavirtauksista aiheutuvat haittavaikutukset saa-

ren eteläpuolen venesatamassa eivät merkittävästi vähenisi. Nopeusrajoitusta tulisi laskea arvioiden mukaan aina 20 km/h saakka, jotta haittavaikutukset poistuisivat kokonaan. Nykyisessä tilanteessa venesataman turvallinen käyttö veneiden säilytykseen vaatisi käytännössä satamaa suojaavan aallonmurtajan rakentamista sekä mahdollisesti laiturien edustojen syventämistä ja laitureiden parantamista.

Musta Hevonen

Alukset ohittavat saaren enimmillään nykyisen nopeusrajoituksen mukaisilla 30 km/h (16 solmua) nopeuksilla. Näillä nopeuksilla alusten aiheuttamien aaltojen maksimikorkeudet saari-ryhmän väylän puoleisilla rannoilla vaihtelevat arvioiden mukaan välillä 0,1–0,3 m. Aaltojen voidaan arvioida vastaavan korkeutensa puolesta enimmillään 3–8 m/s suunnista W tai SW puhaltavan tuulen nostattamaa aallokkoa.

Krokholmen

Saari sijaitsee nykyisellä 17 km/h (9 solmua) nopeusrajoitusalueella. Nopeusalueella 17–25 km/h (9–13,5 solmua) alusten aiheuttamien aaltojen maksimikorkeudet saaren länsi- ja pohjoisrannoilla vaihtelevat arvioiden mukaan välillä 0,1–0,25 m. Maastomittausten havaintojen perusteella maksimaaliset aallonkorkeudet länsipuolen mökkirannan edustalla vaihtelivat alusten ajaessa ulos välillä 0,1–0,2 m. Alusten aiheuttamien rantaan kulkeutuvien aaltojen voidaan arvioida vastaavan korkeutensa puolesta suurimmillaankin 5–10 m/s W ja NE väliltä puhaltavan tuulen nostattamaa luonnonaallokkoa.

Nopeusalueella 17–25 km/h vedenpinnan korkeus vaihteli alusten ohitusten aikana länsipuolen mökkirannassa maastomittausten havaintojen perusteella suurimmilla aluksilla sisään ajettaessa välillä 0,14–0,66 m ja ulos ajettaessa välillä 0,06–0,26 m. Arvioiden mukaan vedenpinnan korkeusvaihtelut saattavat olla kohtalaisen suuria myös saaren pohjoispuolen rannoilla.

Väyläosan nykyisellä 17 km/h nopeusrajoituksella väylällä kulkevat alukset eivät mittaushavaintojen perusteella aiheuta haittaa saaren länsipuolen mökkirannassa. Jos nopeusrajoitusta nostettaisiin nykyisestä, vedenpinnan korkeusvaihtelut mökkirannassa lisääntyisivät voimakkaasti sisään ajettaessa. Vedenpinnan korkeusvaihtelut voisivat olla suuria myös saaren pohjoisosan ulkoiluaueen rannoilla, joissa on pienveneiden kiinnityspaikkoja. Ulos ajettaessa nopeusrajoitusta voitaisiin mittaushavaintojen mukaan nostaa aina rajoitukseen 25 km/h saakka, eivätkä haittavaikutukset saaren länsipuolen mökkirannassa lisääntyisi kohtuuttomasti.

Pikku-Niinisaari ja Mölandet

Saaret sijaitsevat sataman tuntumassa nykyisellä 17 km/h (9 solmua) nopeusrajoitusalueella. Nopeusalueella 17–25 km/h (9–13,5 solmua) alusten aiheuttamien aaltojen maksimikorkeudet Pikku Niinisaaren itä- ja etelärannoilla sekä Mölandetin eteläkärjessä vaihtelevat arvioiden mukaan välillä 0,1–0,25 m. Voimakkain aaltovaikutus kohdistunee Pikku Niinisaaren mutkassa, väylän sisäkaarteeseen puolella olevaan Pikku Niinisaaren itärantaan. Vedenpinnan korkeusvaihtelut alusten ohitusten aikana saarten rannoilla ovat arvioiden mukaan vähäisiä, sillä alusten nopeudet ovat sataman läheisyydessä alhaisia.

5 ALUSLIIKENTEN TURVALLISUUS JA SUJUVUUS

5.1 Nopeusrajoitusten vaikutukset

Väylänviranomaisen päätehtävänä on vesiliikenteen toimintaedellytysten tukeminen ja edunvalvonta (Merenkulkulaitos 2009 c). Tilanteessa, jossa kauppamerenkulun väylille asetetaan nopeusrajoituksia, joiden tarkoituksena on vähentää alusliikenteen aiheuttamia ympäristövaikutuksia, on tärkeää ottaa huomioon myös rajoitusten mahdolliset vaikutukset alusliikenteen turvallisuuteen, sujuvuuteen ja sataman operointiin. Nopeusrajoituksia alentamalla ei saa vaarantaa alusten ohjailua väylällä eikä kohtuuttomasti heikentää alusliikenteen sujuvuutta tai vaikeuttaa sataman operointia. Tässä luvussa käsitellään Vuosaaren väylän nopeusrajoituksia alusten turvallisen ohjailun, alusliikenteen ohjauksen ja liikenteen sujuvuuden sekä sataman operoinnin näkökulmasta.

5.2 Alusturvallisuus

5.2.1 Alusten ohjailu

Aluksen ohjailussa, alan käytännön kielellä manoveerauksessa, aluksen etenemissuuntaa eli kurssia sekä nopeutta pyritään ylläpitämään tai muuttamaan haluttuun suuntaan erilaisilla ohjailutoimenpiteillä. Aluksen ohjailulla avomerellä, väylällä ja satama-alueella on kaikilla omat erityispiirteensä. Tässä esityksessä keskitytään tämän työn kannalta keskeisimpään, aluksen ohjailuun väylällä.

Väylällä ohjailtaessa operoidaan rajoitetulla vesialueella. Alus on pidettävä väyläalueella, jolla on aluksen syvyyteen nähden riittävästi vettä. Kauppamerenkulun väylille määritetään Suomessa aina väyläalueet, joille on varmistettu tietty haraussyvyys. Väylän haraussyvyys tarkoittaa väylänpitäjän takaamaa väylän vähimmäisvesisyvyyttä keskivedenkorkeudesta mitattuna. Väylille ilmoitetaan tavallisesti myös kulkusyvyys, joka tarkoittaa suurinta suunniteltua alussyväystä väylällä. Kulkusyvyys on aina haraussyvyyttä pienempi, sillä kulkusyvyiden suunnittelussa on huomioitu muun muassa aallokon aiheuttaman aluksen pystysuuntaisen liikkeen ja aluksen nopeuspainuman vaatima varavesi. (Merenkulkulaitos 2001.) Suomessa ollaan siirtymässä ja eräiden kauppamerenkulun väyliä osalta jo siirrettykin kansainvälisen mallin mukaiseen kulkusyvyyskäytäntöön, jossa väylälle ilmoitetaan ainoastaan haraussyvyys (Merenkulkulaitos 2005 b).

Väylällä liikuttaessa aluksen ohjailukyky on säilytettävä kaikissa olosuhteissa. Mikäli ohjailukyky menetetään, seurauksena voi olla törmäys toiseen alukseen tai väylältä ulos ajautuminen. Alus tarvitsee tietyn vähimmäisnopeuden, jotta ohjailukyky voidaan säilyttää. Aluksen ohjailutapahtuma väylällä ja sitä kautta aluksen turvallisen ohjailun vaatima vähimmäisnopeus on väylä- ja aluskohtainen. Myös luonnonolosuhteet, kuten tuuli, aallokko, virtaukset ja jäätalvina jäät, asettavat omat erityisvaatimuksensa aluksen ohjailulle ja turvallisen ohjailun vaatimille vähimmäisnopeuksille. (Lewis 1989, Larjo et al. 2010.)

Väylän ominaisuudet

Suomessa satamien sisääntuloväylät ovat usein kapeita ja mutkaisia, mikä johtuu saaristomme erityispiirteiden väyläsuunnittelulle asettamista vaatimuksista. Kapeat ja mutkaiset väylät vaikeuttavat navigointia ja tekevät alusten ohjailusta haastavaa erityisesti hankalissa luonnonolosuhteissa. Toisaalta saaristoväylät ovat usein myös melko suojaisia tuulta ja luonnonaallokkoa vastaan, sillä väyliä suojaavat usein saaret ja karit, jolloin tuulen vapaa pyyhkäisymatka jää lyhyeksi. Satamien sisääntuloväylät kulkevat usein varsinkin loppuosaltaan matalalla vesialue-

eella. Kun alus liikkuu matalalla vesialueella, jossa vesisyvyyden ja aluksen syväyksen suhde on pieni, pohja alkaa vaikuttaa aluksen rungon ympärillä oleviin virtauksiin niin, että aluksen kääntymiskyky heikkenee (Lewis 1989). Tämä ilmenee esimerkiksi käännökseen vaadittavan kaarresäteen kasvamisena ja suurempina tarvittavina peräsinkulmina käännöksissä (Rytönen ja Sassi 2002).

Väylän linjauksen kulkiessa matalan veden alueella saaren tai vedenalaisen matalikon läheltä, väylällä kulkevaan alukseen kohdistuu niin sanottu reunavaikutus (bank effect). Tässä ilmiössä liikkuvan aluksen synnyttämä painekenttä ei ehdi tasaantua ympäröivään veteen, vaan saaren tai matalikon reuna alkaa vaikuttaa alusta ympäröiviin virtauksiin. Aluksen keulan sivulle muodostuu ylipaine, joka pyrkii työntämään keulaa pois päin esteestä. Aluksen keskivaiheille ja erityisesti perään muodostuu alipaine, joka taas pyrkii imemään aluksen perää kohti estettä. Seurauksena reunavaikutuksesta voi olla aluksen kääntyminen pois halutusta kurssista ellei tätä vaikutusta kompensoida esimerkiksi peräsinkulmaa muuttamalla. Reunailmiö voidaan havaita myös aluksen nopeuden äkillisenä laskuna, kun alus saapuu ruopatulalle väyläosalle, jonka kohdalla vesisyvyys on ympäröivää vesialuetta huomattavasti pienempi. (Larjo et al. 2010.)

Aluksen ominaisuudet

Alusten ohjailuominaisuudet eri alustyyppien välillä vaihtelevat huomattavasti. Aluksen ohjailukykyyn vaikuttavat erityisesti aluksen koko, runkomuoto, konetehto sekä potkuri- ja peräsinjärjestelmän ominaisuudet. Pitkät, kapeat ja syvällä uivat alukset ovat lyhyitä, leveitä ja matalalla uivia aluksia suuntavakaampia, mutta myös kankeampia kääntymään (Larjo et al. 2010). Suuntavakavuus tarkoittaa aluksen luontaista kykyä kulkea suoraan.

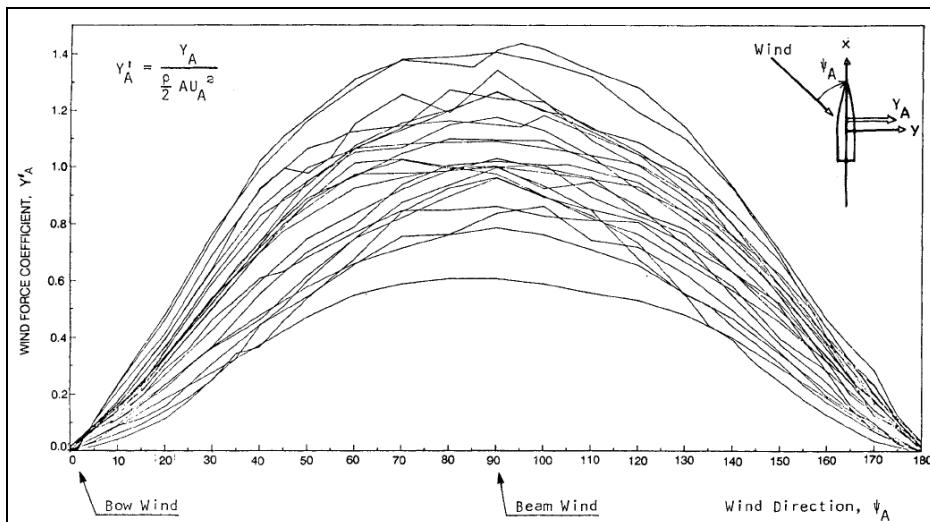
Aluksen ohjailukykyyn vaikuttaa suuntavakavuuden lisäksi aluksen peräsimen tehokkuus. Peräsiimeen kohdistuu aluksen liikkua virtausta, josta suurin osa on potkurivirtausta. Peräsiintä kääntämällä saadaan virtausta ohjattua niin, että sen synnyttämä ohjailuvoima pyrkii yhdessä aluksen runkoon kohdistuvan veden virtauksen aiheuttaman voiman kanssa kääntämään alusta haluttuun suuntaan. Peräsin toimii sitä tehokkaammin mitä suurempi on aluksen ja peräsiimeen kohdistuvan potkurivirran nopeus. Myös peräsimen muodolla, koolla ja mahdollisilla lisävarusteilla on merkittävä vaikutus peräsimen tehokkuuteen. (Larjo et al. 2010.) Useissa nykyaikaisissa aluksissa käytetään tehoperäsimiä, joilla potkurivirtaa saadaan hyvin tehokkaasti ohjattua. Eräs tehoperäsin tyyppi niin sanottu Becker-peräsin, jonka takaosassa on erillinen nivelöity laippa, jolla saadaan peräsimen muoto epäsymmetriseksi. Epäsymmetrisyys lisää peräsimen tehokkuutta. (Keränen ja Leinonen 2009.)

Aluksen pääkoneesta voimansa saava propulsio laite tuottaa alukselle työntövoimaa. Tavallisesti rahtialuksissa propulsio laitteena on ruuvipotkuri. Yleisimmät käytössä olevat pääpropulsio laitteen potkurityypit ovat kiinteälapainen (FPP, fixed pitch propeller) ja säätövälapainen (CPP, controllable pitch propeller) potkuri. FPP-potkurit ovat tyypillisiä konttialuksissa, CPP-potkurit taas autolautoissa sekä roro- ja ropax-aluksissa. Näiden potkurityyppien eroavaisuudet aluksen ohjailun kannalta ovat huomattavia. CPP-potkurilla varustetun aluksen ei tarvitse pysäyttää ja vaihtaa koneen käyntisuuntaa, kun aluksen liikesuuntaa halutaan muuttaa eteen- ja taaksepäin. Liikesuunta vaihdetaan CPP-potkurin lapoja kääntämällä. Samassa tilanteessa FPP-potkurilla varustetun aluksen kone taas joudutaan pysäyttämään ja sen käyntisuunta vaihtamaan, mihin saattaa kulua useita minutteja. CPP- potkurilla voidaan myös paremmin hyödyntää koneen tehoa kaikissa kuormitustilanteissa. Kuormitustilanteet vaihtelevat ajettaessa eri syväyksillä, jäissä, matalassa vedessä tai kovassa merenkäynnissä. (Matusiak 2005.)

Pääpropulsiolaitteen lisäksi useissa aluksissa on erilaisia keula- ja peräpotkureita, jotka tuottavat alukselle sivuttaissuuntaista työntövoimaa. Näitä käytetään pääasiassa alhaisilla ohjailunopeuksilla satamamanooverien aikana tai jäätälvinä jäärännissä ajettaessa. (Larjo et al. 2010.)

Luonnonolosuhteet

Tuuli ja aallokko ovat merkittävimpiä aluksen ohjailua vaikeuttavia luonnon häiriötekijöitä. Sattamien sisääntuloväylät saaristossa ovat tavallisesti voimakkaan luonnonaallokon vaikutuksilta suojassa, joten aallokon vaikutus aluksen liikkeisiin ei ole yhtä voimakas kuin avomerellä. Kun tuulen nopeuden suhde aluksen nopeuteen on suuri, tuulen aiheuttama poikkeama aluksen kurssiin voi olla merkittävä jo keskikovillakin tuulilla. Tätä ulkoisen voiman aiheuttamaa poikkeamaa aluksen kurssiin kutsutaan sorroksi. Sortokulmaksi taas kutsutaan aluksen näennäisen liikesuunnan ja todellisen liikesuunnan välistä kulmaa. Tuulen aiheuttama aluksen sortokulma on riippuvainen tuulen nopeudesta ja suuntakulmasta alukseen nähden, aluksen tuulipinta-alasta, runkomuodosta ja kulkunopeudesta. (Lewis 1989.) Kuvassa 40 on esitetty useille aluksille laskettu dimensioton aerodynaaminen kerroin tuulen aiheuttamalle sivuttaisvoimalle tuulen tulosuunnan funktiona. Tuulen aiheuttama sortovaikutus on tavallisesti suurimmillaan tuulen kohdatessa aluksen suoraan sivulta.



Kuva 40. Useille aluksille laskettu dimensioton aerodynaaminen kerroin tuulen aiheuttamalle sivuttaisvoimalle (Lewis 1989)

Kontti-, roro- ja ropax-aluksilla sekä autolautoilla on usein varsin suuri tuulipinta-ala ja näillä aluksilla tuulen vaikutus aluksen ohjailuun on huomattava varsinkin alhaisilla ajonopeuksilla. Roro- ja ropax-aluksissa sekä autolautoissa on tavallisesti voimakkaat koneet ja tehokkaat potkuri- ja peräsinjärjestelmät. Niillä voidaan tehokkaasti kompensoida tuulen aiheuttamaa sortovaikutusta koneiden tehoa ja peräsinkulmia muuttamalla. Konttialuksissa konetehto on usein aluksen kokoon nähden pienempi eivätkä potkuri- ja peräsinjärjestelmät ole yhtä tehokkaita. (Larjo et al. 2010.)

Virtaukset vaikuttavat aluksen liikkeeseen erityisesti aluksen kulkiessa alhaisella nopeudella rajoitetulla vesialueella. Virtausten vaikutustapa on samankaltainen kuin tuulella, mutta vaikutus kohdistuu aluksen rungon vedenalaiseen osaan (Lewis 1989). Tavallisesti virtausten vaikutus aluksen ohjailuun ei ole yhtä merkittävä kuin tuulella, mutta aluksilla, jotka liikkuvat suurella syvyyksellä virtausten vaikutus voi olla aluksen suuren vedenalaisen pinta-alan takia jopa tuulen vaikutusta suurempi. Virtausten vaikutusten arvioiminen ohjailutilanteissa on vaikeaa.

Väylällä usein liikennöivien alusten päälliköt ja luotsit tuntevat tavallisesti paikalliset virtausolosuhteet. (Larjo et al. 2010.)

5.2.2 Vuosaaren väylän erityispiirteet alusten ohjailun kannalta

Vuosaaren väylän linjaus on melko suora, käännöksiä väylällä on kaksi: ensimmäinen on väylän avomeriosuudella Itätoukin jälkeen ja toinen sisäosuudella Pikku Niinisaaren ja Mölandetin välisessä salmessa. Väylä on alkuosaltaan leveä (400–2000 m) ja kaksikaistainen, mikä tekee kahden aluksen kohtaamisen mahdolliseksi. Väylän loppuosa taas on kapea (200–300 m) ja yksikaistainen. Suurten alusten kohtaamiset tapahtuvat yksikaistaisen osuuden puolivälissä olevalla kohtaamis- ja odotusalueella. Väylän suunnittelun yhteydessä varattiin mahdollisuus väylän kaksikaistaisen osuuden lisäämiseksi. Tämä voitaisiin käytännössä toteuttaa leventämällä väylää tai vaihtoehtoisesti rakentamalla erillisen ulostulohaara väylän sataman puoleiseen päähän (Kostiainen 2008). Koska väylän liikennemäärät todennäköisesti lisääntyvät tulevaisuudessa, edellä kuvatut toimenpiteet voivat tulla ajankohtaisiksi.

Väylän alkupää Eestiluotoon asti on tuulille ja aallokelle altista avomeriosuutta. Eestiluodolta alkaen saaret ja karit antavat suojaa väylällä liikkuville aluksille, mutta varsinkin väylän kulkusuuntaan nähden sivulta puhaltavat tuulet ja aallokko vaikeuttavat alusten ohjailua väylällä. Alusten ohjailun kannalta haasteellisimmat osuudet ovat oletettavasti väylän kapeimmat kohdat ennen Kuiva Hevosta sekä Krokholmenin kapeikon ja Pikku Niinisaaren mutkan välinen alue. Väyläalueen leveys on näissä kohdissa 200–300 m ja voimakkaan sivutuulen aiheuttama aluksen sivuttaissiirtymä voi alustyyppistä ja aluksen ajonopeudesta riippuen olla merkittävän suuri väyläalueen leveyteen nähden. Tällöin voidaan joutua käyttämään suuria peräsinkulmia kompensoimaan sortoa. Matalikkojen ja saarten kohdalla aluksiin kohdistuva reunavaikutus on otettava huomioon Krokholmenin kapeikossa, jossa väylän tiellä ollut matalikko ruopattiin väylän rakentamisen aikana pois. Kokemusten perusteella aluksen nopeus laskee äkillisesti, kun alus saapuu Krokholmenin kapeikon ruopatulle alueelle.

5.3 Kysely Vuosaaren väylällä operoiville alusten päälliköille ja luotseille

5.3.1 Kyselyn tarkoitus, tavoitteet ja toteutus

Vuosaaren väylällä operoiville linjaliikenteen alusten päälliköille ja luotseille järjestettiin kysely, jonka tarkoituksena oli selvittää erilaisten alusten turvallisen ohjailun vaatimat vähimmäisnopeudet väylällä eri tuulioaloissa. Kyselyn järjestäminen katsottiin erittäin tarpeelliseksi, sillä väylän käyttäjillä on parasta käytännön tietoa ja kokemusta alusten ohjailtavuudesta väylällä. Kyselyssä selvitettiin kyselyyn osallistuneiden alusten perustiedot (alustyyppi, koko, pääkoneiden teho, potkurijärjestelmä), liikennöintitiheys väylällä (krt/vk) ja alusten vaatimat vähimmäisnopeudet eri väyläosilla eri tuuliolosuhteissa.

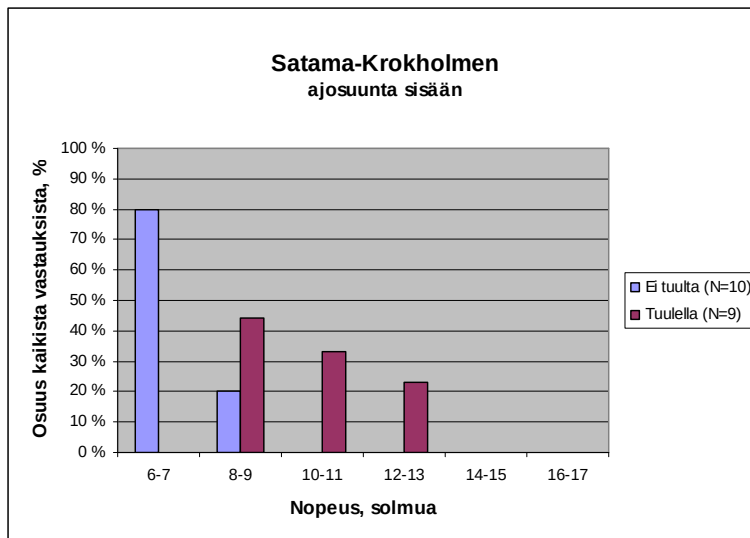
Sähköisesti täytettävä MS Word-muotoinen kyselylomake lähetettiin kesäkuun puolivälissä sähköpostitse kaikille neljälle Vuosaaren väylällä säännöllisesti linjaliikenteessä operoivan varustamon (Finnlines, Tallink Silja, Eckerö Line, Navirail) yhteyshenkilölle. Kyselylomake tehtiin sekä englanniksi (Liite B.1) että suomeksi (Liite B.2). Pääasiassa konttialuksia väylällä luotsaaville luotseille suunnattu vastaavankaltainen suomenkielinen kyselylomake (Liite B.3) lähetettiin luotsausliikelaitos Finnpilot Oy:n Helsingin luotsausalueen luotsivanhimmalle, joka välitti kyselylomakkeen 15 luotsille. Molemmissa kyselyissä vastauksia pyydettiin heinäkuun loppuun mennessä eli vastausaikaa jäi noin 6 viikkoa.

5.3.2 Kyselyn tulokset

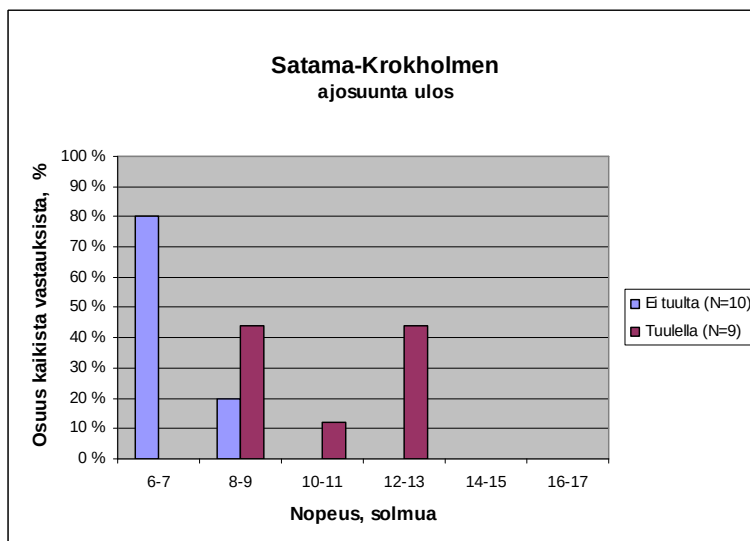
Alusten päälliköt

Kaikilta varustamoilta vastattiin kyselyyn. Linjaliikenteen alusten päälliköiltä saatiin kaiken kaikkiaan 10 vastausta (Finnlines 7, Tallink-Silja 1, Eckerö Line 1, Navirail 1). Kyselyyn vastanneet alusten päälliköt operoivat Vuosaaren satamassa roro- tai ropax-aluksilla tyypillisesti 2–4 kertaa viikossa, osa jopa kahdesti päivässä. Alusten pituudet vaihtelivat välillä 130–220 m, leveydet 22–31 m ja maksimisyvyykset 5,7–7,2 m. Pääkoneita aluksissa oli tyypillisesti 2 tai 4 ja niiden kokonaistehot vaihtelivat alustyyppistä ja aluksen koosta riippuen välillä 9300–46000 kW. Valtaosassa aluksista oli 2 säätyvälapaista CPP-potkuria ja useissa aluksissa lisäksi Becker-peräsimet.

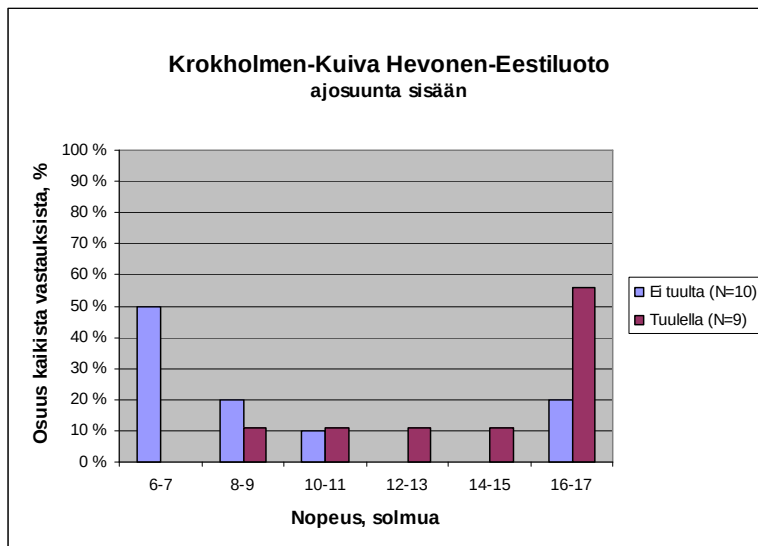
Kuvissa 41–44 on esitetty päälliköiden vastausten perusteella alusten vaatimat vähimmäisnopeudet eri väyläosilla eri ajosuunnissa. Kuvissa vastausten lukumäärät eri nopeuksille on esitetty prosentuaalisina osuuksina kaikista vastauksista.



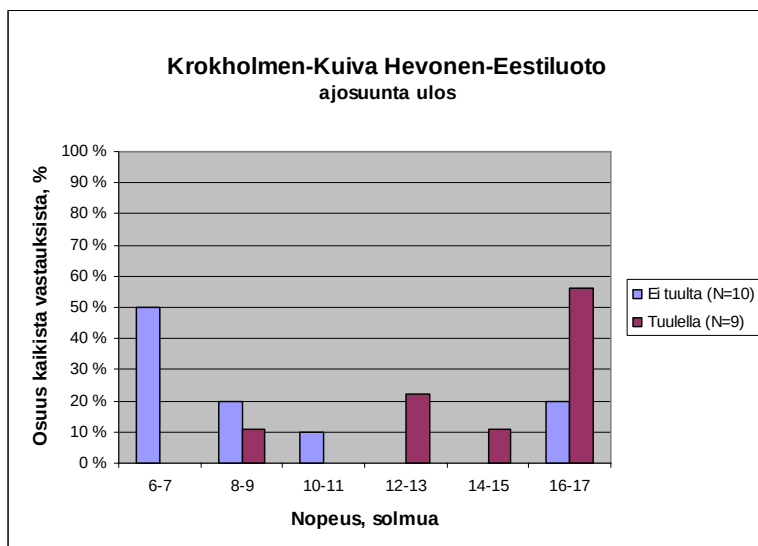
Kuva 41. Alusten vähimmäisnopeudet, ajosuunta sisään



Kuva 42. Alusten vähimmäisnopeudet, ajosuunta ulos



Kuva 43. Alusten vähimmäisnopeudet, ajosuunta sisään

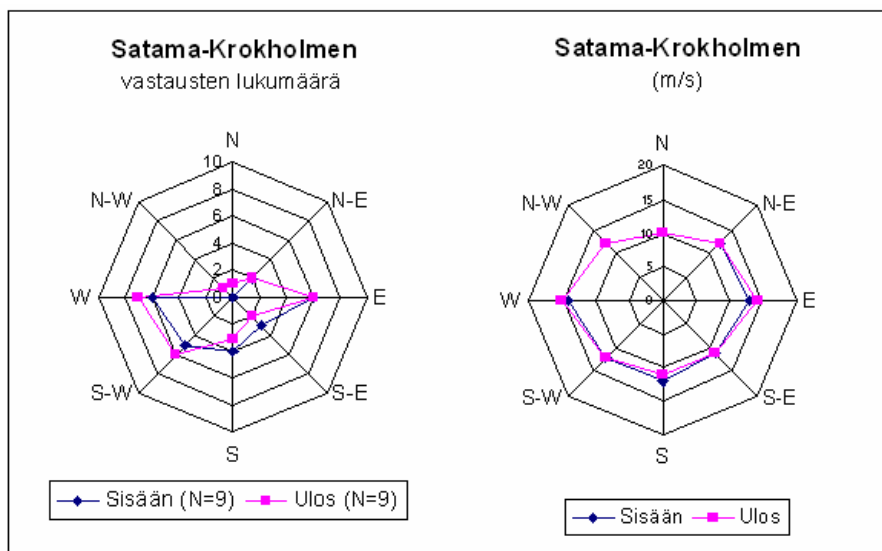


Kuva 44. Alusten vähimmäisnopeudet, ajosuunta ulos

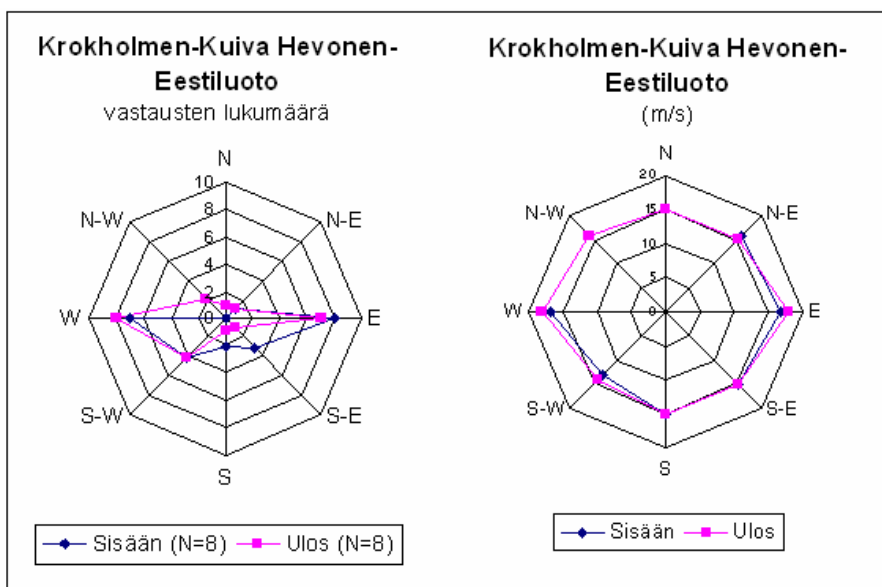
Vertailtaessa kuvissa 41–44 esitettyjä pylväskuvaajia ”ei tuulta” ja ”tuulella” keskenään, voidaan selvästi havaita tuulen aiheuttama tarve aluksen nopeuden lisäämiseen. Tilanteessa, jossa tuuli ei vaikeuta ohjailua, alusten vaatimat vähimmäisnopeudet väylänosalla Vuosaaren satama - Krokholmen vaihtelevat 6–9 solmun (11–17 km/h) välillä sekä sisään että ulos ajettaessa. Vastaajista suurimman osan (80 %) mielestä vähimmäisnopeus on tällöin 6–7 solmua. Tilanteessa, jossa tuuli vaikeuttaa ohjailua, vaadittavat vähimmäisnopeudet kasvavat selvästi ja vaihtelevat välillä 8–13 solmua (15–24 km/h) molemmissa ajosuunnissa.

Tilanteessa, jossa tuuli ei vaikeuta ohjailua, vaadittavat vähimmäisnopeudet ovat väylänosalla Krokholmen - Kuiva Hevonen - Eestiluoto pääsääntöisesti 6–11 solmua (11–20 km/h) molemmissa ajosuunnissa. Puolet vastaajista kertoi vähimmäisnopeuden olevan tällöin 6-7 solmua. Osa vastaajista (20 %) kertoi vähimmäisnopeuden olevan jopa 16–17 solmua (30–31 km/h). Tilanteessa, jossa tuuli vaikeuttaa ohjailua yli puolet vastaajista (56 %) määritteli vähimmäisnopeuden välille 16–17 solmua molemmissa ajosuunnissa. Loput vastauksista jakaantuivat melko tasaisesti eri nopeusluokille välillä 8–15 solmua (15–28 km/h) alinta luokkaa lukuun ottamatta.

Kuvassa 45 on esitetty vastaajien kokemusten perusteella tuulensuunnat ja niitä vastaavat keskimääräiset tuulennopeudet, joilla alusten ohjailu alkaa vaikeutua välillä Vuosaaren satama - Krokholmen. Kuvassa 46 on esitetty vastaavat arvot välillä Krokholmen - Kuiva Hevonen - Eestiluoto. Kuvissa 45 ja 46 tuulensuunnat ja -nopeudet on esitetty niin sanottuina tuulisektorikuvaajina. Tuulisektorikuvaajia on käytetty esimerkiksi simulaattoriajoilla määritettyjen satamien tuulirajojen esittämiseen (Hakala et al. 1999). Kyselyyn vastanneet mainitsivat yleensä useita tuulensuuntia, minkä vuoksi kuvien selitteissä on kerrottu vastaajien lukumäärät.



Kuva 45. Alusten ohjailua vaikeuttavat tuulensuunnat ja niitä vastaavat keskimääräiset tuulennopeudet välillä satama - Krokholmen



Kuva 46. Alusten ohjailua vaikeuttavat tuulensuunnat ja niitä vastaavat keskimääräiset tuulennopeudet välillä Krokholmen – Kuiva Hevonen – Eestiluoto

Vastausten perusteella aluksen ohjailun kannalta hankalimmiksi tuulensuunniksi koetaan erityisesti W–SW ja E–SE suunnista puhaltavat tuulet, jotka kohtaavat likimain S–N suuntaisella väylällä liikkuvan aluksen suoraan tai viistosti sivulta. Hankalaksi koetaan myös etelätuuli, joka kohtaa aluksen sisään ajettaessa takaa ja ulos ajettaessa edestä. Ohjailua hankaloittavia tuulensuuntia vastaavat keskimääräiset tuulennopeudet ovat vastausten perusteella välillä Vuo-

saaren satama - Krokholmen luokkaa 11–15 m/s ja välillä Krokholmen - Kuiva Hevonen - Eestiluoto 13–18 m/s.

Luotsit

Luotsit kokivat kyselyyn vastaamisen hankalaksi. Luotsattavia aluksia ja alustyyppisiä Vuosaaren väylällä on useita, ja jokaisen aluksen ohjailulla on omat yksilölliset erityispiirteensä. Tämän vuoksi he eivät katsoneet voivansa vastata kyselyyn suoraan. Sen sijaan Helsingin luotsausalueen luotsinvanhin kokosi yhteen luotsien näkemykset väylän nykyisistä nopeusrajoituksista luotsattavien alusten ohjailun näkökulmasta. Seuraavassa on lyhyesti esitetty tässä yhteenvedossa esiin nousseet asiat.

Luotsien mukaan väylän nykyinen 30/17 km/h nopeusrajoitus on luotsattavien alusten ohjailun kannalta pääosin riittävä. Konttialuksilla, joiden syväys on lähellä väylän kulkusyvyyttä, ei 30 km/h rajoitusalueella ole edes mahdollista ajaa suuremmilla nopeuksilla, sillä nopeuden lisääntyessä myös aluksen nopeuspainuma kasvaa ja tällöin pohjakosketuksen vaara on olemassa. Sisään ajettaessa väylän loppuosan 17 km/h rajoitus on myös riittävä. Alusten nopeutta joudutaan joka tapauksessa laskemaan, kun lähestytään Pikku Niinisaaren edustan käännoystä ja satama-allasta. Sen sijaan ulos ajettaessa 17 km/h rajoitus saisi luotsien mukaan olla nykyistä suurempi. (Ketonen 2010.)

5.3.3 Tulosten arviointia

Kyselyn perusteella Vuosaaren väylällä operoivilla roro- ja ropax-aluksilla on tavallisesti tehokkaat ohjailulaitteet ja voimakkaat pääkoneet. Alusten ohjailtavuus voidaan tiynellä kelillä säilyttää muutamilla aluksilla vielä niinkin alhaisella kuin 5–7 solmun niin sanotulla dead slow -nopeudella. Roro- ja ropax-alusten ohjailun kannalta ongelmallisena voidaan nähdä alusten suuri tuulipinta-ala ja sitä kautta melko heikkojenkin tuulten aiheuttama sorto. Aluksen kulkiessa normaalia pienemmällä syväyksellä tuulen aiheuttama sorto lisääntyy. Kun alus on lähtenyt satamasta ja ohittanut suojaisten Pikku-Niinisaaren mutkan, avoimella selällä puhaltava tuuli voi erään vastaajan mukaan yllättäen ”tarttua kiinni” alukseen, jolloin sillä tulee olla riittävästi nopeutta kyetäkseen säilyttämään kurssinsa.

Roro- ja ropax-alusten vaatimissa vähimmäisnopeuksissa ei eri aluskokojen välillä kyselyvastausten perusteella ollut suuria eroja. Sen sijaan samanlaisten, niin sanottujen sisaralusten päällikköiden mielipiteet vaadittavista nopeuksista saattoivat olla keskenään hyvinkin erilaisia. Vähimmäisnopeudet niin sisään kuin ulos ajettaessa olivat likimain samat. Sen sijaan eri väyläosilla vaadittavissa nopeuksissa erot olivat suuret. Välillä Krokholmen – Kuiva Hevonen - Eestiluoto tarvitaan vesialueen avoimuuden vuoksi väliä Vuosaaren satama - Krokholmen suurempia nopeuksia.

Vastausten perusteella väylän nykyinen 30 km/h nopeusrajoitus välillä Krokholmen - Kuiva Hevonen on niin kontti-, roro- kuin ropax-alustenkin turvallisen ohjailun kannalta riittävä molemmissa ajosuunnissa kaikissa tavanomaisissa tuuliolosuhteissa. Heikoilla tuulilla tällä väyläosuudella useimpien alusten on mahdollista kulkea myös nykyistä rajoitusta alhaisemmilla nopeuksilla. Tuulen puhaltaessa erityisesti suunnista W–SW ja E–SE tarvittavat vähimmäisnopeudet lähestyvät väyläosuuden nykyistä nopeusrajoitusta. Vastausten perusteella keskimääräiset tuulennopeudet, joilla alusten ohjailu alkaa vaikeutua vaihtelevat alustyyppistä ja tuulensuunnasta riippuen välillä 13–18 m/s. Muutamilla aluksilla ohjailu alkaa jo vaikeutua tuulennopeuden ylittäessä nopeuden 10 m/s.

Väylän loppuosan nykyinen 17 km/h nopeusrajoitus katsottiin heikoilla tuulilla olevan riittävä niin kontti-, roro- ja ropax-alustenkin ohjailun näkökulmasta molemmissa ajosuunnissa. Sen sijaan kovemmillä tuulilla tuulen puhaltaessa erityisesti suunnista W–S–E alusten turvallinen ohjailu vaatisi roro- ja ropax-aluksilla monen vastaajan mielestä molemmissa ajosuunnissa vähintään 10–13 solmun (19–24 km/h) nopeuksia. Kovemmillä tuulilla myös konttialusten turvallinen ohjailu vaatisi erityisesti ulos ajettaessa nykyistä 17 km/h rajoitusta suurempaa nopeutta. Vastausten perusteella keskimääräiset tuulennopeudet, joilla alusten ohjailu alkaa vaikeutua vaihtelevat alustypistä ja tuulensuunnasta riippuen välillä 11–15 m/s.

5.4 Alusliikenteen ohjaus ja liikenteen sujuvuus

Alusliikenteen ohjaus

Vuosaaren väylän alusliikennettä ohjaavalta Suomenlahden meriliikennekeskukselta tiedusteltiin väylän nopeusrajoitusten vaikutuksia alusliikenteen ohjaukseen ja alusliikenteen sujuvuuteen väylällä. Alusliikenteen ohjauksen toimintaa ja tehtäviä on tarkemmin kuvattu luvussa 2. Tiedustelun avulla pyrittiin selvittämään seuraavia asioita:

- Miten väylän nykyiset nopeusrajoitukset vaikuttavat alusliikenteen ohjaukseen ja alusliikenteen sujuvuuteen.
- Miten tilanne muuttuu, jos
 - nopeusrajoituksia nostetaan tai lasketaan
 - nopeusrajoitukset ovat eri ajosuuntiin (sisään/ulos) erilaisia
 - nopeusrajoitukset ovat talvi- ja kesäkaudella erilaisia.

Meriliikennekeskuksen alusliikenneohjaajien mukaan väylälle asetetut nopeusrajoitukset luonnollisesti hidastavat liikennettä väylällä ja erityisesti sen yksikaistaisella osalla, jossa on voimassa alusten ohittamis- ja kohtaamiskielto. Aluksille jaetaan ajovuorot ilmoittautumisjärjestyksessä ja muut alukset joutuvat odottamaan vuoroaan sitä kauemmin mitä hitaammin etuajoi- oikeuden saanut alus joutuu väylällä kulkemaan. Jos nopeusrajoituksia laskettaisiin, alusten odotusajat edelleen pitenisivät. Nopeusrajoitusten laskeminen vaikeuttaisi myös alusten ohjailua väylällä kovalla tuulella, mikä heikentää alusturvallisuutta. Nopeusrajoituksia ei tulisi alusliikenneohjaajien mukaan laskea vaan nostaa, jos se vaan on suinkin mahdollista. Liikenteen sujuvuutta väylällä edistäisi, mikäli rajoitusta voitaisiin nostaa edes toiseen ajosuuntaan. Alusliikenneohjaajien mukaan nopeusrajoitusten tulisi olla niin kesä- kuin talvikaudellakin samantaisia. Erilaiset rajoitukset eri kausina aiheuttaisivat epäselvyyttä väylän käyttäjien keskuudessa ja vaikeuttaisivat alusliikenteen hallintaa. (Talja 2010.)

Satama

Vuosaaren satamakeskuksen johtajalta tiedusteltiin väylän nopeusrajoitusten vaikutuksia sataman operointiin. Satamakeskuksen johtajan mukaan tilanteessa, jossa väylälle asetetaan tiukkoja nopeusrajoituksia, alusten matka-ajat pidentyvät. Tämä voi aiheuttaa ongelmia alusten aikataulujen pitävyydelle. (Noroviita 2010.) Linjaliikenteessä on tyypillisesti tiukat aikataulut. Yksi tärkeimmistä linjaliikenteen kilpailueduista on kuljetusten täsmällisyys ja nopeus. Tämän kilpailuedun säilyttämisen kannalta onkin hyvin tärkeää, että alukset pysyvät aikataulussa.

Väylälle määrätyt alhaiset nopeusrajoitukset voivat edesauttaa väylän ruuhkautumista väylän yksikaistaisella osuudella tilanteessa, jossa useat alukset saapuvat tai ovat lähdössä satamasta samanaikaisesti. Väylän mahdollinen ruuhkautuminen pidentäisi satamakeskuksen johtajan mukaan alusten odotusaikoja ja siten aiheuttaisi viivytyksiä alusten aikatauluihin. Aikataulus-

taan myöhässä oleva alus joutuisi tällöin ajamaan tavallista matkanopeutta suuremmalla nopeudella saadakseen menetetyn ajan kiinni, mikä taas lisäisi aluksen polttoaineenkulutusta ja polttoainekustannuksia. Satamakeskuksen johtajan mukaan alusten myöhästymiset lisääisivät myös satamatyöntekijöiden odotusaikoja ja nostaisivat sitä kautta työvoimakustannuksia. (Norviita 2010.)

6 VÄYLÄN ALUSLIIKENTEEEN POLTTOAINEENKULUTUS, PÄÄSTÖT JA KUSTANNUKSET

6.1 Meriliikenteen päästöt

Tulevaisuudessa meriliikenteen päästöjä koskevat kansainväliset rajoitukset edelleen tiukentuvat, minkä vuoksi niin kansallisen kuin kansainvälisenkin meriliikenteen päästötason tunteminen on välttämätöntä. (Kämäräinen et al. 2009.) Vesiliikennettä pidetään yleisesti energiatehokkaana ja ympäristöystävällisenä kuljetusmuotona kuljetussuoritteisiinsa nähden. Vesiliikenteen päästöillä on kuitenkin omat erityispiirteensä verrattaessa niitä muiden liikennemuotojen päästöihin. Tämä johtuu ennen kaikkea vesiliikenteen polttoaineiden korkeista rikkipitoisuuksista. (Mäkelä et al. 2009.)

Rahtiliikenteessä alusten pääkoneiden voimanlähteenä käytetään tyypillisesti raskasta polttoöljyä ja aluksen sisäiseen energiantuotantoon käytettävissä apukoneissa kevyttä polttoöljyä. Satamalaiturissa yleensä vain apukoneet ovat käynnissä. Niin raskaasta kuin kevyestäkin polttoöljystä syntyvät tärkeimmät päästöt ovat rikkidioksidi (SO_2), typen oksidit (NO_x), hiilivedyt (HC), hiukaset, hiilimonoksidi (CO) ja hiilidioksidi (CO_2). Vuonna 2008 vesiliikenteen aiheuttamien typen oksidien määrä oli noin 52 %, ja rikkidioksidin jopa 97 % Suomen kaikkien liikennemuotojen typen oksidi- ja rikkidioksidipäästöistä. Typen oksidit ja rikkidioksidi ovatkin alusliikenteen merkittävimmät ilmastopäästölajit ja näiden päästöjen vähentäminen on suuri haaste vesiliikenteelle. (Mäkelä et al. 2009.)

Alusliikenteessä nopeudella on tunnetusti hyvin merkittävä vaikutus polttoaineenkulutukseen ja sitä kautta syntyviin savukaasupäästöihin (Kämäräinen et al. 2009, LIPASTO 2010 a). Alukselle määritetään suunnittelun yhteydessä nopeusalue, jolla liikkuessaan aluksen polttoaineenkulutus suorituskykyyn ja aluksen käyttötarkoitukseen nähden olisi mahdollisimman alhainen. Erilaisille alustyypeille ovat muodostuneet ominaiset nopeusalueet, joihin vaikuttaa muun muassa aluksen käyttötarkoitus ja polttoaineen hinta. Tavallisesti esimerkiksi konttialusten nopeudet ovat alhaisempia kuin roro-, ropax- ja matkustaja-alusten. (Matusiak 2010.) Koska polttoaineiden hinnat ovat kohonneet voimakkaasti viime vuosina, useat varustamot ovat joutuneet pohtimaan mahdollisuuksia alustensa nopeuksien alentamiseksi (Merenkulkulaitos 2009 a, Kämäräinen et al. 2009).

Ulkomaanliikenteessä liikennöivän aluksen sataman sisääntuloväylällä kulkema matka on tavallisesti suhteellisen pieni verrattuna koko merikuljetusmatkan pituuteen. Tarkasteltaessa esimerkiksi Vuosaaren väylän (pituus 32 km) osuutta merikuljetuksesta, joka suuntautuu Vuosaaresta Saksan Rostockiin (Helsinki - Rostock etäisyys noin 1000 km), aluksen väylällä kulke-
man matkan osuus on noin 3 % koko merimatkan pituudesta. Toisaalta; jos vastaava tarkastelu tehdään Helsingin ja Tallinnan väliselle merikuljetukselle (Helsinki - Tallinna etäisyys noin 90 km), vastaava väylällä kuljetun matkan osuus olisi jo noin 35 % koko merimatkan pituudesta.

Koska aluksen polttoaineenkulutus ja päästöt ovat voimakkaasti sidoksissa aluksen nopeuteen, on mielenkiintoista tietää, kuinka paljon sataman sisääntuloväylälle asetetut nopeusrajoitukset vaikuttavat vuositasolla väylän alusliikenteen polttoaineenkulutukseen, päästöihin ja näistä aiheutuviin kustannuksiin. Jos alukset joutuvat laskemaan nopeuttaan väylällä nopeusrajoitusten vuoksi, polttoaineenkulutus ja päästöt alenevat. Toisaalta alusnopeuksien laskiessa aluksen matka-aika pitenee, mistä aiheutuvat kustannukset täytyy myös ottaa huomioon arvioitaessa nopeusrajoitusten vaikutuksia. Lähteen Merenkulkulaitos (2009 d) mukaan polttoainekus-

tannukset muodostavat kaikissa alusryhmissä suurimman kustannuserän (44–63 %) ja pääomakustannukset toiseksi suurimman erän (23–30 %) aluksen kokonaiskustannuksista.

6.2 Päästöjen laskentajärjestelmät Suomessa

Suomessa laskentajärjestelmää eri liikennemuotojen päästöjen ja energiankulutuksen laskemiseksi on kehitetty jo 90-luvulta alkaen. Nykyinen VTT:n kehittämä, vuosittain päivitettävä LIPASTO-laskentajärjestelmä laskee Suomen kaikkien liikennemuotojen päästöt ja energiankulutuksen. MEERI-laskentajärjestelmä on LIPASTO:n alamalli Suomen vesiliikenteen päästöjen ja energiankulutuksen laskemiseen. Ilmatieteen laitoksen ShipNODEff tutkimus- ja kehityshanke tähtää sellaisen laskentajärjestelmän kehittämiseen, jolla voidaan arvioida reaaliaikaisesti alusliikenteen tyypipäästöjä ja niiden vaikutusta Itämeren rehevöitymiseen. Sito Oy:n, VTT:n ja Liikenneviraston yhteisprojektissa MERIMA:ssa kehitettiin laskentamalli Suomen ja ulkomaiden välisten merikuljetusten päästöjen, niiden ulkoisten kustannusten ja polttoainekustannusten laskentaan. MERIMA-laskentamalli perustuu monilta osin LIPASTO:n MEERI-laskentamalliin. Tässä esityksessä keskitytään MEERI- ja MERIMA-laskentamalleihin, ShipNODEff-mallia ei käsitellä sen tarkemmin projektin keskeneräisyydestä johtuen.

MEERI

Suomen vesiliikenteen kokonaispäästöjen laskentajärjestelmä MEERI perustuu siihen, että tunnetaan aluksen koneteho (kW), nopeus ja matka, jolloin saadaan laskettua matka-aika ja siihen käytetty teho. Kilowattituntimäärien perusteella taas saadaan laskettua aluksen polttoaineenkulutus ja päästöt käyttämällä hyväksi erityisiä päästökertoimia ja ominaispolttoaineenkulutustietoja. Polttoaineenkulutus ja päästöt on laskettu erilaisille alustyypeille, joita mallissa kutsutaan tyyppialuksiksi. Alusten satamissa käyntien määrät ja erilaisten alustyyppien osuudet kokonaisliikennemäärästä saadaan Liikenneviraston meriliikennetilastoista, jolloin voidaan laskea alusliikenteen kokonaispäästöt. Koska laskentajärjestelmä on tarkoitettu Suomen koko vesiliikenteen päästöjen ja polttoaineenkulutuksen arvioimiseen, laskentajärjestelmässä on käytetty useita yleistyksiä ja yksinkertaistuksia. (LIPASTO 2010 b.)

MEERI-laskentajärjestelmässä vesiliikenteen päästöt on jaettu kansainvälisen käytännön mukaisesti väyläpäästöihin ja satamapäästöihin. Väyläpäästöihin sisältyvät kaikki ne alusten aiheuttamat päästöt, jotka syntyvät Suomen talousalueella olevilla väylillä. Satamapäästöihin taas lasketaan kuuluviksi kaikki ne alusten aiheuttamat päästöt, jotka syntyvät satamalaiturissa tai satamien sisääntuloväylillä. (LIPASTO 2010 b.)

MERIMA

MERIMA-laskentamalli perustuu hyvin pitkälti MEERI-laskentamalliin, mutta eroaa siitä käyttötarkoitukseltaan ja laskentatuloksiltaan monessa suhteessa. Suurin ero näiden laskentamallien välillä on, että MERIMA laskee Suomen ja ulkomaiden välisen liikenteen kokonaispäästöt ja polttoaineenkulutuksen, kun taas MEERI laskee vain Suomen talousalueella syntyvät kokonaispäästöt ja polttoaineenkulutuksen.

MERIMA-projektissa tuotettiin kaksi erilaista päästömallia Suomen ja ulkomaiden välisen meriliikenteen tavarakuljetusten päästöjen ja niiden ulkoisten kustannusten sekä polttoaineenkulutuksen ja polttoaineenkustannusten laskentaan. Projektissa tuotetut mallit ovat kokonaispäästömalli ja päästövertailumalli.

Kokonaispäästömalli laskee Liikenneviraston meriliikennetilastojen avulla meriliikenteen vienti- ja tuontikuljetusten vuoden 2008 kokonaispäästöt ja niiden ulkoiset kustannukset sekä polt-

toaineenkulutuksen ja polttoainekustannukset alustyypeittäin merellä ja satamassa. Tässä mallissa käyttäjä voi laskennassa muuttaa polttoaineen rikki- ja raskauspitoisuutta ja raskaan polttoöljyn osuutta sekä polttoaineiden hintoja.

Päästövertailumalli vertailee kahden eri Suomen ja ulkomaiden välisen kuljetusreitillä polttoaineenkulutusta ja päästöjä sekä näistä aiheutuvia kustannuksia keskenään. Käyttäjä voi valita vapaasti kuljetusreitillä lähtö- ja kohdesatamat. Laskennassa voidaan muuttaa alustyyppiä ja -kokoa, lastimäärää, polttoaineen rikki- ja raskauspitoisuutta ja raskaan polttoaineen osuutta sekä aluksen keskinopeutta. Vertailumallissa on mahdollista haluttaessa muuttaa myös polttoaineen hintaa ja päästöjen yksikkökustannuksia. Mallissa on lisäksi vapaavalintaosio, jossa käyttäjä voi itse valita kuljetusmatkan pituuden.

MERIMA-laskentamallissa aluksen polttoaineenkulutuksen muutos suhteessa nopeuden muutokseen perustuu niin sanottuun amiraliteettikaavaan (16) ja sen muunnokseen (17). Yleisesti tunnettu amiraliteettikaava osoittaa, että aluksen polttoaineenkulutus muuttuu nopeuden muutokseen nähden likimain suhteessa kolmanteen potenssiin, kun aluksen nopeus on lähellä suunnittelunopeutta. Kaavan on todettu pätevän muillakin nopeusalueilla ainakin karkeassa laskennassa (LIPASTO 2010 a). Toisaalta Kämäräinen et al. (2009) mukaan amiraliteettikaavaa käytettäessä tuloksiin tulee suhtautua varovaisesti.

$$F = F^* \left(\frac{S}{S^*} \right)^a \quad (16)$$

jossa

- F = polttoaineenkulutus (t/vrk)
- F* = polttoaineenkulutus suunnittelunopeudella
- S* = suunnittelunopeus
- S = todellinen nopeus
- a = vakio, jonka arvo on noin 3.

Jos otetaan huomioon kuljettu matka, voidaan amiraliteettikaava kirjoittaa muotoon (Kämäräinen et al. 2009)

$$Y = x^2 + 2x \quad (17)$$

jossa

- Y = polttoaineenkulutuksen muutos prosentteina tietyllä matkalla
- x = nopeuden muutos prosentteina.

Kaavan 17 mukaan aluksen nopeuden lisääntyessä esimerkiksi 44 % (esim. 18 ⇒ 26 solmua) polttoaineenkulutus kaksinkertaistuu.

6.3 Väylän polttoaineenkulutus-, päästö- ja kustannuslaskelma

6.3.1 Laskennan toteutus

Erilaisten nopeusrajoitusten vaikutuksia Vuosaaren väylällä alusten päästöihin ja polttoaineenkulutukseen sekä näistä aiheutuviin päästö- ja polttoainekustannuksiin arvioitiin vuositason edellä kuvattua MERIMA-laskentamallia hyödyntämällä. Laskennassa käytettiin vertailumallisovelluksen vapaavalintaasiota. Mallia ei varsinaisesti ole tarkoitettu laskentaan yksittäisillä väylillä mutta mallia hyödyntämällä voidaan saada suuntaa antavia arvioita nopeusrajoitusten vaikutuksista alusten päästöihin ja polttoaineenkulutukseen sekä näiden kustannuksiin. Kuvas-
sa 47 on esitetty MERIMA-vertailumallisovelluksen päävalikkonäkymä.

SUOMEN KANSAINVÄLISEN MERILIIKENTEEN PÄÄSTÖVERTAILUMALLI 2008															Etusivulle	
KULJETUS 1 1) Syötä etäisyys ja lastimäärä Syötä etäisyys 1000 km Syötä lastimäärä 4000 tonnia KULJETUS 2 1) Syötä etäisyys ja lastimäärä Syötä etäisyys 1000 km Syötä lastimäärä 4000 tonnia																
2) Valitse alustyyppi ja aluksen koko Valitse alustyyppi Roro lastialus Muuta aluksen kokoa Suurennna Pienennä Aluksen koko 330 traileria Aluksen koon muutos verrattuna peruskokoon 150 traileria +120 % 2) Valitse alustyyppi ja aluksen koko Valitse alustyyppi Roro lastialus Muuta aluksen kokoa Suurennna Pienennä Aluksen koko 330 traileria Aluksen koon muutos verrattuna peruskokoon 150 traileria +120 %																
3) Valitse ja syötä polttoainetiedot Palauta oletus-tiedot Raskas polttoöljy (HFO) Kevyt polttoöljy (MDO/GO) Muuta osuutta 15 % Muuta nikkipitoisuutta 85 % Syötä hinta* 344 €/tonni 617 €/tonni Keskimäärin 1.2 % 384.95 €/tonni 3) Valitse ja syötä polttoainetiedot Palauta oletus-tiedot Raskas polttoöljy (HFO) Kevyt polttoöljy (MDO/GO) Muuta osuutta 15 % Muuta nikkipitoisuutta 85 % Syötä hinta* 344 €/tonni 617 €/tonni Keskimäärin 1.2 % 384.95 €/tonni																
4) Valitse aluksen keskimääräinen matkanopeus Oletusnopeus 18.0 solmua 33.3 km/h Muuta oletusnopeutta 5.0 % Uusi nopeus 18.9 solmua 35.0 km/h 4) Valitse aluksen keskimääräinen matkanopeus Oletusnopeus 18.0 solmua 33.3 km/h Muuta oletusnopeutta -25.0 % Uusi nopeus 13.5 solmua 25.0 km/h																
TULOKSET Reitti- ja lastitiedot Pituus (km) 1 000 Kuljetettu lasti (tonnia) 4 000 Suorite (miljoonaa tonninkm) 4.0 Aluksen tiedot Tyyppi Roro lastialus Koko 330 traileria Polttoainetiedot Kulutus (tonnia) 110.1 Kustannus (mlj. €) 0.042 Päästöt (tonnia) Hiili-monoksidi (CO) 0.29 Hiilivedyt (HC) 0.06 Typpen oksidit (NOx) 7.26 Hiukkaset (PM) 0.17 Metaani (CH4) 0.03 Typpi-oksidi (NO2) 0.01 Rikki-dioksidi (SO2) 2.60 Hiilidioksidi (CO2) 351 Hiilidioksidi-ekvivalentti (CO2 ekv.) 354 TULOKSET Reitti- ja lastitiedot Pituus (km) 1 000 Kuljetettu lasti (tonnia) 4 000 Suorite (miljoonaa tonninkm) 4.0 Aluksen tiedot Tyyppi Roro lastialus Koko 330 traileria Polttoainetiedot Kulutus (tonnia) 57.3 Kustannus (mlj. €) 0.022 Päästöt (tonnia) Hiili-monoksidi (CO) 0.15 Hiilivedyt (HC) 0.03 Typpen oksidit (NOx) 3.77 Hiukkaset (PM) 0.09 Metaani (CH4) 0.02 Typpi-oksidi (NO2) 0.01 Rikki-dioksidi (SO2) 1.33 Hiilidioksidi (CO2) 183 Hiilidioksidi-ekvivalentti (CO2 ekv.) 185																
PÄÄSTÖKUSTANNUKSET Mallin käyttämät yksikkökustannukset (€/päästötonni) Satamassa Hiili-monoksidi (CO) 17 Hiilivedyt (HC) 160 Typpen oksidit (NOx) 990 Hiukkaset (PM) 29 600 Rikki-dioksidi (SO2) 2 630 Hiilidioksidi (CO2) 32 Merellä Rannikolla 2.00 Avomerellä 0.40 Syötä omat yksikkökustannukset (€/päästötonni) Satamassa CO 17 HC 160 NOx 990 PM 29 600 SO2 2 630 CO2 32 Merellä Rannikolla 2 Avomerellä 0.40 TULOKSET Päästökustannukset (€) Kuljetus 1 Hiili-monoksidi (CO) 7.19 Hiilivedyt (HC) 2.226 Typpen oksidit (NOx) 760 Hiukkaset (PM) 1 169 Rikki-dioksidi (SO2) 11 217 Hiilidioksidi (CO2) 351 Yhteensä 11 217 Kuljetus 2 Hiili-monoksidi (CO) 3.85 Hiilivedyt (HC) 1.198 Typpen oksidit (NOx) 404 Hiukkaset (PM) 603 Rikki-dioksidi (SO2) 5 844 Hiilidioksidi (CO2) 183 Yhteensä 5 844 Ero -3.34 -1.028 -356 -567 -5 373 Ero (%) -46 % -46 % -47 % -48 % -48 %																

Kuva 47. MERIMA-vertailumallin laskentasovellus

Laskentatulokset on esitetty yksityiskohtaisesti liitteissä C.1–C.2. Seuraavassa laskennan kulku on esitetty lyhyesti vaihe vaiheelta.

1) Laskettiin vertailumallilla väylän tyyppialuksille polttoaineenkulutus ja päästömäärät sekä niitä vastaavat kustannukset ajettua kilometriä kohden erilaisilla alusnopeuksilla. Vertailumallissa päästöihin ja polttoaineenkulutukseen sisältyvät myös satamassaolon aikainen polttoaineenkulutus ja päästöt. Tämä osaltaan nostaa mallin laskemia alusten yksikköpäästöjä ja polttoaineenkulutusta väylällä. MERIMA-kokonaispäästömallin laskentatulosten mukaan Suomen ulkomaantavarakuljetusten polttoaineenkulutuksesta keskimäärin vain noin 2 % muodostuu satamassaoloaikana, joten virhe on minimaalinen.

Laskennassa väylän tyyppialuksina käytettiin (vrt. taulukko 1 sivulla 14)

- 1300 TEU:n konttialusta
- 1000 TEU:n konttialusta
- 330 trailerin ropax-alusta
- 150 trailerin roro-alusta.

Tällä hetkellä väylällä liikkuvat suurimmat konttialukset ovat maksimissaan noin 1300 TEU:n vetoisia aluksia. Aluksen lastin keskimääräiseksi nettopainoksi (konttien sisällä olevan tavarain paino) saatiin laskennassa noin 6000 tonnia, kun huomioitiin keskimääräinen täyttöaste (65 %) ja tyhjien konttien osuus (23 %) sekä keskimääräinen kontin nettopaino (9t/TEU).

Tyypillisimmät väylällä liikkuvat konttialukset ovat tällä hetkellä maksimissaan noin 1000 TEU:n vetoisia konttifeederaluksia. Aluksen lastin keskimääräiseksi nettopainoksi saatiin laskennassa noin 4500 tonnia, kun noudatettiin samoja laskentaperiaatteita kuin konttialusten tapauksessa.

Ropax-aluksien keskimääräiseksi trailerien lukumääräksi saatiin laskennassa noin 330, kun otettiin huomioon tyyppialuksen lastikaistojen yhteispituus (4200 m), arvioitu trailerin keskipituus (12,5 m), trailerien keskimääräinen lukumäärä kapasiteetista (80 %), tyhjien trailerien osuus (15 %) ja keskimääräinen traileripaino (14 tonnia). Edelleen keskimääräiseksi lastin nettopainoksi saatiin noin 3800 tonnia.

Roro-alusten keskimääräiseksi trailerien lukumääräksi saatiin laskennassa noin 150, kun otettiin huomioon tyyppialuksen lastikaistojen yhteispituus (1800 m). Roro-aluksen lastin nettopaino arvioitiin samalla periaatteella kuin ropax-aluksen tapauksessa. Keskimääräiseksi lastin nettopainoksi saatiin noin 1600 tonnia.

Kaikille laskennan tyyppialuksille laskettiin vertailumallilla arviot alusten polttoaineenkulutuksesta ja päästöistä kilometriä kohden nopeuksilla 20 (21), 25, 30, 35 ja 40 km/h (noin 11–22 solmua). Nopeus 20 km/h (konttialuksilla 21 km/h) oli pienin mahdollinen mallin hyväksymä nopeuden arvo, 40 km/h taas suurin nopeus, jolla alusten voidaan olettaa kulkevan väylällä. Vertailumallilla saatuja arvioita eri tyyppialusten polttoaineenkulutuksista ja yksikköpäästöistä verrattiin MEERI-laskentajärjestelmän vastaavankaltaisten tyyppialusten polttoaineenkulutus- ja yksikköpäästötietoihin (LIPASTO 2010 c). Vertailussa havaittiin vertailumallin tulosten vastaavan hyvin MEERI-järjestelmän vastaavia arvoja.

2) Arvioitiin väylän liikennemäärä vuositasolla ja erilaisten alustyyppien osuus kokonaisliikennemäärästä. Laskelmissa käytettiin alusliikenteen kokonaismäärinä 3100, 4000 ja 5000 alusta vuodessa. Vuonna 2008 kokonaisliikennemäärä oli noin 3100 alusta. Alusliikenteen odotetaan kasvavan tulevaisuudessa, joten tämä mahdollinen kasvu otettiin huomioon vertailussa. Tällä hetkellä Vuosaaren sataman alusliikenteestä konttialuksia on noin 1/3 ja ropax- ja roro-aluksia noin 2/3 (Noroviita 2009). Erilaisten alustyyppien osuudet kokonaisliikennemäärästä oletettiin vakioksi kaikilla liikennemäärillä.

Yli 1000 TEU:n konttialuksia satamassa käy melko harvoin ja niiden osuudeksi (1300 TEU konttialus) kaikista konttialuksista arvioitiin 1/9 ja edelleen 1/27 kokonaisliikennemäärästä. 1000 TEU:n konttialusten osuudeksi arvioitiin 8/9 konttialuksista ja edelleen 8/27 kokonaisliikennemäärästä. Ropax-alusten osuuden oletettiin olevan 1/3 kokonaisliikenteen määrästä. Roro-alusten osuuden kokonaisliikennemäärästä oletettiin olevan sama kuin ropax-aluksilla, eli 1/3 kokonaisliikennemäärästä.

3) Asetettiin eri vaihtoehtoja väylän nopeusrajoituksille ja laskettiin eri nopeusrajoitussuoksien pituudet väylällä. Nopeusrajoituksille valittiin kolme erilaista vaihtoehtoa:

- Vaihtoehto 1: Ei rajoituksia, vapaat alusnopeudet koko väylän matkalla
- Vaihtoehto 2: Nykyinen rajoitus, 30 / 17 km/h (laskentasovelluksen rajoitteista johtuen 30 / 20 km/h)
- Vaihtoehto 3: 20 / 17 km/h -rajoitus (laskennassa 20 / 20 km/h)

Rajoitusvaihtoehdot valittiin niin, että saataisiin käsitys väylän nykyisen rajoituksen vaikutuksista verrattuna ei rajoitusta -tilanteeseen. Lisäksi mielenkiinto kohdistui sellaiseen tilanteeseen, jossa nykyistä rajoitusta laskettaisiin tuntuvasti, joten myös tällainen vaihtoehto valittiin mukaan vertailuun. Taulukossa 8 on esitetty kunkin alustyyppin arvioitujen nopeudet eri väyläosuuksilla kussakin nopeusrajoitusvaihtoehdossa. Taulukossa esitetyt väyläosuudet ovat:

- 1) Väylän alkupää - Eestiluoto - Kuiva Hevonen (kokonaispituus 28,5 km)
- 2) Kuiva Hevonen - Krokholmen (kokonaispituus 4,0 km)
- 3) Krokholmen – Vuosaaren satama (kokonaispituus 3,5 km)

Taulukko 8. Arvioitujen alusnopeudet vaihtoehtoisin eri väyläosuuksilla

		Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2	Vaihtoehto 3
Alustyyppi	Väyläosuus	Nopeus km/h	Nopeus km/h	Nopeus km/h
Konttialukset	1	30	30	30
	2	30	30	20
	3	25	17	20
Ropax-alukset	1	40	40	40
	2	40	30	20
	3	30	17	20
Roro-alukset	1	35	35	35
	2	35	30	20
	3	30	17	20

Vaikka väylällä ei olisikaan nopeusrajoituksia, alukset eivät kykenisi kuitenkaan ajamaan koko väylän matkalla avomerellä käyttämillään matkanopeuksilla. Esimerkiksi sellaiset konttialukset, joiden ajonaikainen syväys on lähellä väylän kulkusyvyyttä, joutuvat ottamaan nopeuspauman huomioon valitessaan väylällä käyttämänsä ajonopeuden. Taulukon 8 arviot alusnopeuksista voidaan olettaa olevan hyvin lähellä vastaavassa tilanteessa alusten käyttämiä todellisia ajonopeuksia.

4) Väylän alusliikenteen vuotuiset *polttoaineen kokonaiskulutukset ja -päästömäärät* lajeittain saatiin kussakin nopeusrajoitusvaihtoehdossa kertomalla keskenään ja laskemalla yhteen

- tyyppialusten polttoaineenkulutukset ja päästömäärät lajeittain kilometriä kohden eri nopeuksilla
- nopeuksia vastaavien väyläosuuksien pituudet
- tyyppialusten liikennemäärät väylällä vuositasona.

Polttoainekustannukset saatiin kertomalla keskenään ja laskemalla yhteen

- sekä raskaan että kevyen polttoöljyn kokonaiskulutukset
- polttoaineiden yksikkökustannukset.

Päästökustannukset saatiin kertomalla keskenään ja laskemalla yhteen

- päästöjen määrä lajeittain
- päästölajeja vastaavat yksikkökustannukset.

Laskennassa käytettiin laskentamallissa oletuksena olevaa 85 % osuutta raskaalle ja 15 % osuutta kevyelle polttoöljylle polttoaineen kokonaiskulutuksesta. Polttoaineiden rikkipitoisuuksina käytettiin niin ikään mallissa oletuksena olevaa 1,4 % osuutta raskaalle ja 0,1 % kevyelle polttoöljylle. Polttoaineiden ja päästöjen yksikkökustannuksina käytettiin MERIMA-

mallissa oletuksena olevia yksikkökustannuksia, jotka ovat peräisin Merenkululaitoksen *Aluskustannukset 2009* -julkaisusta (Kämäräinen et al. 2009). Päästöyksikkökustannuksina laskennassa käytettiin yksikkökustannuksia rannikolla. Nykyisin käytössä olevat yksikköpäästökustannukset ovat 2000-luvun alkupuolelta ja niiden päivittämisestä ja uudistamisesta lähitulevaisuudessa on käyty keskustelua.

6.3.2 Laskennan tulokset ja niiden arviointia

Laskennan tuloksena väylän alusliikenteen vuotuinen polttoaineen kokonaiskulutus, -päästöt sekä näiden kustannukset on esitetty eri liikennemäärillä taulukossa 9. Eri vaihtoehtojen kokonaiskustannuksia on vertailtu keskenään. Vertailun lähtökohtana on käytetty vaihtoehtoa 1 (ei nopeusrajoituksia).

Taulukko 9. Väylän alusliikenteen polttoaineenkulutus ja päästöt sekä näiden kustannukset vuositasolla laskettuna eri alusliikennemäärillä nopeusrajoitusvaihtoehdoissa 1-3

Liikennemäärä 3100 alusta/vuosi		Vaihtoehto		
		1	2	3
Polttoaineenkulutus	(tonnia / v)	15 891	14 667	13 896
Päästöt	(tonnia / v)	52 682	48 626	46 068
Polttoainekustannukset	(€ / v)	6 045 266	5 575 667	5 283 390
Päästökustannukset	(€ / v)	2 418 942	2 233 205	2 115 597
Kustannukset yhteensä	(€ / v)	8 464 208	7 808 872	7 398 987
Kustannussäästö	(€ / v)	0	-655 335	-1 065 221
Liikennemäärä 4000 alusta/vuosi		Vaihtoehto		
		1	2	3
Polttoaineenkulutus	(tonnia / v)	20 505	18 925	17 930
Päästöt	(tonnia / v)	67 977	62 743	59 443
Polttoainekustannukset	(€ / v)	7 800 343	7 194 409	6 817 277
Päästökustannukset	(€ / v)	3 121 215	2 881 555	2 729 803
Kustannukset yhteensä	(€ / v)	10 921 558	10 075 964	9 547 080
Kustannussäästö	(€ / v)	0	-845 594	-1 374 479
Liikennemäärä 5000 alusta/vuosi		Vaihtoehto		
		1	2	3
Polttoaineenkulutus	(tonnia / v)	25 631	23 657	22 413
Päästöt	(tonnia / v)	84 971	78 429	74 304
Polttoainekustannukset	(€ / v)	9 750 429	8 993 012	8 521 596
Päästökustannukset	(€ / v)	3 901 519	3 601 943	3 412 253
Kustannukset yhteensä	(€ / v)	13 651 948	12 594 955	11 933 850
Kustannussäästö	(€ / v)	0	-1 056 993	-1 718 098
Säästö %		0,0 %	7,7 %	12,6 %

Taulukon 9 laskentatulosten perusteella voidaan arvioida, että väylän nykyiset nopeusrajoitukset vähentäisivät vuositasolla alusliikenteen polttoaineenkulutusta, päästöjä ja näistä aiheutuvia kustannuksia väylällä vajaat 10 % verrattuna tilanteeseen, jossa väylällä ei olisi nopeusrajoituksia. Jos nykyisiä nopeusrajoituksia laskettaisiin vaihtoehdon 3 mukaisesti, säästöt olisivat hieman yli 10 %. Euromääräisesti esitettynä säästöjä voitaisiin edellä esitettyjen laskelmien perusteella saavuttaa väylän nykyisillä nopeusrajoituksilla noin 0,6–1,0 M€ vuodessa alusliikennemääristä riippuen. Jos rajoituksia laskettaisiin, säästöt olisivat tällöin noin 1,0–1,7 M€.

Jos polttoaineiden hinnat tai päästöjen yksikkökustannukset muuttuvat, myös saavutettavien säästöjen määrä luonnollisesti muuttuu. Lähitulevaisuudessa polttoaineiden hinnat todennä-

köisesti nousevat, sillä alusliikenteessä käytettäviltä polttoaineilta aletaan vaatia muun muassa Itämeren alueella nykyistä alhaisempia rikkipitoisuuksia. Polttoaineita koskevat uudet rajoitukset on esitetty kansainvälisen merenkulkujärjestö IMO:n meriympäristön suojelukomitean 9.10.2008 hyväksymässä MARPOL 73/78 -yleissopimuksen VI ilmastonsuojeluliitteessä (Merenkulkulaitos 2009 d). Rajoitusten tiukennukset astuvat voimaan vaiheittain. Vuoden 2015 alusta alkaen Itämerellä alusten käyttämien polttoaineiden enimmäisrikkipitoisuudeksi sallitaan enää 0,1 %, mikä tarkoittaa käytännössä siirtymistä nykyisestä raskaasta polttoöljystä huomattavasti kalliimman kaasuoiljyn (MGO) käyttöön (Merenkulkulaitos 2009 d).

Kuten edellä jo todettiin, alhaisemmat alusnopeudet väylällä pidentävät alusten matka-aikaa. Alukset ehtivät näin kuljettaa vähemmän lastia ja alusten kiinteät kustannukset kuljetettua lastiyksikköä kohden kasvavat. Aluksen kiinteät kustannukset muodostuvat lähteen Merenkulkulaitos (2009d) mukaan

- pääomakustannuksista, joihin sisältyvät muun muassa aluksen hankintakustannuksen poistot ja lainojen korot
- miehituskustannuksista, joihin sisältyvät miehistön palkat, verot ja erilaiset työnantajamaksut
- muista aluskustannuksista, joihin sisältyvät muun muassa korjaus- ja ylläpitokustannukset sekä vakuutusmaksut
- yleiskustannuksista, jotka yleensä lasketaan olevan 8 % edellä lueteltujen kustannusten kokonaissummasta.

Jos alusten matka-ajat pitenevät, päästö- ja polttoainekustannusten alenemisesta saatava säästö voi kuluu ainakin osittain aluskustannusten ja sitä kautta varustamokustannusten kasvuun. Linjaliikenteen alus voi myös joutua tiukan aikataulunsa vuoksi ottamaan väylän nopeusrajoitusalueella menetetyn ajan kiinni ajamalla esimerkiksi avomerellä tavallista suuremmalla nopeudella. Tällöin polttoaineenkulutus ja päästöt sekä niiden kustannukset kasvavat, mikä taas johtaa väylällä nopeusrajoituksilla saavutettujen kustannussäästöjen menettämiseen.

Alusten matka-aikojen pidentymisen aiheuttama aluskustannusten kasvun suuruusluokka on hankala selvittää. Teoriassa alusten kiinteät kustannukset kuljetettua lastiyksikköä kohden kasvavat, jos alusten matka-ajat pidentyvät. Käytännössä tällä on kokonaisuuden kannalta merkitystä ainoastaan tilanteessa, jossa alukselta jää pidentyneiden matka-aikojen vuoksi vuositasolla yksi tai useampi vuoro ajamatta.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Alusliikenteen ympäristövaikutusten vähentämiseen tähtäävien nopeusrajoitusten määrittäminen kauppamerenkulun väylälle on hankala tehtävä. Alusnopeudet ja sitä kautta väylälle määrätty nopeusrajoitukset vaikuttavat osaltaan niin alusten aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin, alusliikenteen turvallisuuteen, liikenteen sujuvuuteen kuin alusliikenteen ohjauksen ja sataman toimintaan. Väyläviranomaisen tavoitteena on yhtäältä edistää alusliikenteen sujuvuutta ja turvallisuutta, mutta toisaalta myös pyrkiä vähentämään alusliikenteen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Nämä tavoitteet ovat voimakkaasti ristiriitaisia. Nopeusrajoituksia alentamalla alusten aalto- ja virtausvaikutuksesta aiheutuvat ympäristöhaitat vähenevät, mutta samalla alusliikenteen sujuvuus ja turvallisuus voi heikentyä.

Jos uuden väylähankkeen tai väylän kehityshankkeen suunnittelualueella sijaitsee alusliikenteen vaikutuksille herkkiä alueita, väylälle tulevan alusliikenteen aiheuttamia aaltoja ja virtauksia sekä niiden haittavaikutuksia olisi tärkeää pyrkiä arvioimaan mahdollisimman tarkasti jo hankkeen suunnitteluvaiheessa. Alusliikenteen vaikutuksille herkkiä kohteita ovat erityisesti sellaiset ranta-alueet, jotka sijaitsevat alle 1000 metrin etäisyydellä väylästä ja joilla on venesatamia ja -laitureita, ranta-asutusta tai erilaisia ulkoilu- ja virkistyskäyttöalueita. Alusten aallonmuodostuksesta aiheutuvat haittavaikutukset korostuvat usein rannoilla, jotka ovat suoja- sa luonnonaallokelta. Alusten uppoumavirtausten aiheuttamat vedenpinnan korkeusvaihtelut väylän lähirannoilla voivat olla voimakkaita erityisesti kohdissa, joissa väylä kulkee esimerkiksi salmessa, kapeikossa tai ruopatulla alueella.

Suunnittelun yhteydessä tehtävän arvioinnin etuna olisi se, että voitaisiin jo ennakolta varautua mahdollisesti tarvittaviin rantojen tai venesatamien suojaustoimenpiteisiin ja arvioida nopeusrajoitusten tarvetta tulevalla väylällä. Kun nämä tekijät ja niistä hankkeelle aiheutuvat lisäkustannukset otettaisiin jo suunnitteluvaiheessa huomioon, voitaisiin nämä kustannukset sisällyttää hankkeen kustannusarvioon, mikä taas edistäisi kokonaistaloudellisesti parhaan ratkaisun löytämistä.

Tämän työn kirjallisuusselvityksen ja Vuosaaren väylän varrella tehtyjen maastotutkimusten perusteella voidaan todeta, että alusten aiheuttama aalto- ja virtaushäiriö kapeilla saaristoväylillä on hyvin tapauskohtaista ja riippuu useista eri tekijöistä. Alusten käyttämällä nopeuksilla on merkittävä rooli aalto- ja virtaushäiriön synnyssä. Muita tekijöitä, jotka vaikuttavat alusten aallonmuodostukseen ja väylältä rantaan kantautuvien laiva-aaltojen ominaisuuksiin ovat vesialueen syvyysolosuhteet, väylän ja kohteen välinen etäisyys sekä alusten yksilölliset ominaisuudet, kuten aluksen pituus ja rungon muoto. Alusten uppoumavirtausten aiheuttamat vedenpinnan korkeusvaihtelut väylän lähialueella olevien saarten rannoilla ovat ensisijaisesti riippuvaisia alusten koosta ja nopeudesta sekä aluksen ja kohteen välisestä etäisyydestä. Myös vesialueen muodolla, vesisyvyydellä ja pohjaolosuhteilla on merkittävä vaikutus vedenpinnan korkeusvaihteluiden voimakkuuteen.

Nykyisillä nopeusrajoituksilla Vuosaaren väylän alusliikenteen todettiin aiheuttavan sellaisia vesien käyttöön kohdistuvia haittavaikutuksia, jotka poikkeavat tavanomaisissa tuuliolosuhteissa esiintyvän luonnonaallokon aiheuttamista vaikutuksista pääasiassa Kuiva Hevosen saaren eteläpuolen venesatamassa. Saari sijaitsee nykyisellä 30 km/h nopeusrajoitusalueella. Tässä venesatamassa havaitut ongelmat johtuvat ensisijaisesti siitä, että satamaan kohdistuvat aalto- ja virtausvaikutukset ovat muuttuneet uuden väylän ja sillä liikkuvan alusliikenteen myötä, eivätkä sataman nykyiset ominaisuudet vastaa näitä muuttuneita olosuhteita. Nykyisellä väylän loppuosan 17 km/h rajoitusalueella merkittäviä haittavaikutuksia ei todettu esiintyvän.

Tilanteessa, jossa väylän nopeusrajoitusta nostettaisiin nykyisellä 30 km/h rajoitusalueella, alusten aiheuttamat haittavaikutukset arvioiden mukaan lisääntyisivät nykyisessä ongelmakohteessa ja uusia ongelmakohteita voisi ilmaantua. Nykyisellä 17 km/h rajoitusalueella merkittäviä haittavaikutuksia ei todettu esiintyvän, mutta jos nykyistä 17 km/h rajoitusta nostettaisiin sisään ajettaessa, haittavaikutukset todennäköisesti lisääntyisivät erityisesti Krokholmenin saaren väylän puoleisilla rannoilla. Sen sijaan satamasta ulos ajettaessa nykyistä 17 km/h rajoitusta voitaisiin nostaa arvioiden mukaan aina rajoitukseen 25 km/h saakka ilman, että alusten aiheuttamat haitat kohtuuttomasti lisääntyisivät.

Väylälle operoiville alusten päälliköille ja luotseille suunnatun kyselytutkimuksen perusteella voidaan todeta, että nykyisellä 30 km/h rajoitusalueella niin kontti-, roro- kuin ropax-aluksetkin voivat liikkua turvallisesti nykyisen rajoituksen sallimilla nopeuksilla. Tyynellä kelillä alukset voisivat liikkua turvallisesti myös nykyistä rajoitusta huomattavasti alhaisemmillä nopeuksilla, mutta jo kohtalaisilla tuulilla alusten sortokulma voi kasvaa niin suureksi, että myös alusten turvallisen ohjailun vaatimat vähimmäisnopeudet kasvavat. Erityisesti suurten roro- ja ropax-alusten, joilla on laaja tuulipinta-ala, vaatimat vähimmäisnopeudet ovat alusten päälliköiden mukaan kovemmilla tuulilla tuulennopeudesta ja -suunnasta riippuen hyvin lähellä väyläosan nykyistä nopeusrajoitusta.

Nykyisellä 17 km/h rajoitusalueella niin kontti-, roro- kuin ropax-aluksetkin voivat liikkua tyynellä kelillä turvallisesti nykyisen rajoituksen sallimilla nopeuksilla molemmissa ajosuunnissa. Kovemmilla tuulilla useat roro- tai ropax-alukset vaatisivat alusten päälliköiden mukaan tällä väyläosuudella 19–24 km/h vähimmäisnopeuksia molemmissa ajosuunnissa. Luotsien mukaan myös konttialukset vaatisivat tällä väyläosuudella hieman nykyistä rajoitusta suurempia nopeuksia satamasta ulos ajettaessa.

Tarkasteltaessa väylän nopeusrajoituksia alusliikenteen ohjauksen ja liikenteen sujuvuuden näkökulmasta voidaan todeta, että nopeusrajoituksia ei olisi syytä laskea vaan päinvastoin nostaa nykyisistä. Väylä on loppuosaltaan yksikaistainen, mikä asettaa erityisvaatimuksia alusliikenteen ohjaukselle ja liikenteen sujuvuudelle. Tiukat nopeusrajoitukset väylällä lisäävät alusten odotusaikoja niin väylän alkupäässä, yksikaistaisen väyläosuuden puolivälissä olevalla kohtaamis- ja odotusalueella kuin satamassakin. Pidentyneet odotusajat voivat aiheuttaa ongelmia erityisesti linjaliikenteelle, jolla on tyypillisesti tiukat aikataulut. Väylän alusliikennemäärien odotetaan kasvavan tulevaisuudessa, ja tämän kasvun myötä vaatimukset alusliikenteen sujuvuudelle lisääntyvät entisestään. Tiukat nopeusrajoitukset väylällä voivat edesauttaa väylän ruuhkautumista tilanteessa, jossa useat alukset ovat tulossa satamaan tai lähtemässä sieltä yhtäaikaaisesti. Väylän ruuhkautuminen aiheuttaisi alusten pidentyneiden odotusaikojen ohella myös satamatyöntekijöiden ja muiden kuljetusketjuun kuuluvien työntekijöiden odotusaikojen lisääntymistä ja sitä kautta muun muassa työvoimakustannusten kasvua.

Väylän polttoaineenkulutus-, päästö- ja kustannuslaskelman perusteella voidaan arvioida, että väylän nykyiset nopeusrajoitukset vähentäisivät vuositasolla väylän alusliikenteen kokonaispolttoaineenkulutusta, -päästöjä ja näistä aiheutuvia kustannuksia vajaat 10 % verrattuna tilanteeseen, jossa väylällä ei olisi lainkaan nopeusrajoituksia. Jos rajoituksia laskettaisiin nykyisistä luvussa 6 kuvatulla tavalla, vastaavat vuotuiset säästöt olisivat tällöin hieman yli 10 %. Prosentuaalisia osuuksia vastaavat euromääräiset säästöt olisivat väylän alusliikennemääristä riippuen vuositasolla noin 0,6–1,7 M€. Kustannussäästöistä noin 70 % saavutettaisiin polttoainekustannusten ja noin 30 % päästökustannusten alenemisen myötä.

Vaikka väylän nopeusrajoitusten myötä alusten polttoaineenkulutus ja päästöt vähenevät väylällä, tällä ei ole juuri merkitystä, kun tarkastellaan koko merikuljetusmatkan aikana alusten kuluttaman polttoaineen määrää ja aiheuttamia päästöjä. Aluksen kulkema matka sataman si-

sääntuloväylällä on tyypillisesti pieni verrattuna koko ulkomaan merikuljetusmatkan pituuteen. Voidaankin ajatella, että tässä yhteydessä nopeusrajoituksista saatava hyöty muodostuu lähinnä alusten päästökuormituksen vähentymisestä rannikon herkässä saaristoympäristössä.

Tämän työn tavoitteena oli löytää alusliikenteen ympäristövaikutusten, turvallisuuden ja sujuvuuden kannalta optimaalinen nopeusrajoitus väylälle. Työn aikana kävi kuitenkin selväksi, että varsinaista optimaalista tilannetta ei voida saavuttaa. Voidaan paremminkin puhua pienimmän haitan vaihtoehdosta. Seuraavassa on esitetty tämän työn tuloksiin perustuen suositukset Vuosaaren väylän nopeusrajoituksiksi. Lisäksi on esitetty muutamia ehdotuksia, joilla väylän alusliikenteen sujuvuus lisääntyisi ja vesien käyttöön kohdistuvat haittavaikutukset vähentyisivät.

Väyläosuudella Kuiva Hevonen - Krokholmen nykyinen 30 km/h nopeusrajoitus säilytettäisiin ennallaan molemmissa ajosuunnissa. Nopeusrajoitus alkaisi ennen Kuiva Hevosta Östra Röd-hällenin luodon kohdalta ja jatkuisi ennen Krokholmenin edustan ruoppausaluetta olevalle poijuparille saakka. Nopeusrajoituksen 30 km/h säilyttäminen ennallaan tällä väyläosuudella edellyttänee lisäsuojausten rakentamista Kuiva Hevosen eteläpuolen venesatamaan ja sataman parantamista. Tämä tarkoittaisi käytännössä satamaa suojaavan lisäällönmurtajan rakentamista sekä mahdollisesti laiturien edustojen syventämistä ja laiturirakenteiden parantamista.

Väyläosuudelle Krokholmen – Vuosaaren satama nykyinen 17 km/h nopeusrajoitus säilytettäisiin ennallaan sisään ajettaessa, mutta rajoitus muutettaisiin alkavaksi jo ensimmäisen poijuparin kohdalta ennen Krokholmenin edustalla olevaa ruoppausaluetta. Ulos ajettaessa nykyistä 17 km/h nopeusrajoitusta taas nostettaisiin rajoitukseen 24–25 km/h.

Koska väylän nopeusrajoitukset heikentävät alusliikenteen sujuvuutta, mutta toisaalta alusliikenteen vesien käyttöön kohdistuvat haittavaikutukset ilmenevät pääosin kesäaikaan, olisi perusteltua pohtia sellaista vaihtoehtoa, että nopeusrajoitukset väylällä olisivat talvikaudella kesäkautta suurempia. Tällaiseen vaihtoehtoon sisältyy kuitenkin muutamia mahdollisia riskitekijöitä, jotka on syytä ottaa huomioon.

1. Alusten nopeuden lisääntyessä myös alusten aiheuttamat vedenpinnan korkeuden vaihtelut lisääntyvät. Jäätalvina voimakkaiden vedenpinnan korkeuden vaihteluiden mukana liikkuva jääkenttä voi aiheuttaa vahinkoa talven yli jäissä seisovien kiinteiden laitureiden rakenteille.
2. Talvikauden nopeusrajoituksen alkamis- ja päättymisajankohtien määrittäminen voi olla ongelmallista. Kevään tullessa aikaisin jotkut saariston asukkaat voivat saapua saariin jo hyvin varhain ja vastaavasti lämpiminä syksyinä he voivat viipyä siellä pitkään.

Ennen kesäkaudesta poikkeavien talvikauden rajoitusten kokeilua tulisi keskustella alusliikenteeseen liittyvien eri osapuolten kanssa kokeilun vaikutuksista, sillä tällaisia eri kausina erilaisia nopeusrajoituksia ei Suomen kauppamerenkulun väylillä tiettävästi ole aikaisemmin ollut käytössä. Jos kokeilu päätetään toteuttaa, tulee myös saariston asukkaita informoida siitä riittävästi.

Niissä väylän varrella olevissa saarissa, joissa käy paljon satunnaisia veneilijöitä, alusliikenteen aiheuttamia haittavaikutuksia voitaisiin vähentää lisäämällä informaatiota alusten mahdollisista aiheuttamista haitoista rannoilla. Näiden saarten rantautumis- ja veneidenkiinnityspaikoille voitaisiin pystyttää infotauluja, joissa varoitettaisiin mahdollisista laiva-aalloista ja vedenpinnan korkeusvaihteluiden esiintymisestä. Tällaisia varoitustauluja voitaisiin pystyttää ainakin Länsitoukin venepoukamaan ja Krokholmenin pohjoisrannan ulkoilualueen ranta-alueelle. Muille paikoille infotauluja voitaisiin harkita tapauskohtaisesti.

LÄHTEET

Aage, C. et al. (2003). *Guidelines for managing wake wash from high-speed vessels*. PIANC. Report on Working Group 41 – MARCOM. Brussels, Belgium. ISBN 2-87223-142-0. 32 s.

Allenström, B. et al. (2003). *The Interaction of Large and High-Speed Vessels with the Environment in Archipelagos –Final Report*. SSPA Research Report No.122, 2003. Sweden. ISBN 91-86532-35-9. 92 s + liit. 166 s.

Alusliikennepalvelulaki (2005). *Alusliikennepalvelulaki 5.8.2005/623*. [Viitattu 12.7.2010] Saatavilla <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050623>

Fournier, A. (2006). *Controlling Air Emissions from Marine Vessels*. Donald Bren School of Environmental Science and Management. University of California Santa Barbara. [Verkkodokumentti] [Viitattu 13.7.2010] Saatavilla <http://westcoastcollaborative.org/files/sector-marine/Fournier%20Marine%20Emissions%20Problems%20and%20Opportunities.pdf>

Friman, H. (1989). *Autolauttaliikenteen vaikutus vesimassaan ja rantoihin Etelä-Airistolla*. Pro gradu tutkielma. Turun yliopisto. Maantieteen laitos. 79 s.

Granath L. (2007). *Stranerosionsrisker I samband med anlop av "Navigator of the Seas"*. Hydrographica AB. Sweden. Rapport 2007-08-30. [Viitattu 13.4.2010]. Saatavilla <http://www.sjofartsverket.se/pages/3459/SlutrapportNavigator.pdf>.

Hakala, M. et al. (1999). *Vuosaaren sataman simulaattoritutkimus*. VTT Valmistustekniikka. Tutkimusselostus VAL34-992379. Espoo. 19 s + liit. 139 s.

Heikkonen, M (toim.). (2008). *Vuosaaren satama ja ympäristö, Suunnittelusta rakentamiseen*. Vuosaaren sataman rakennusprojekti VUOSA, Vuosaaren sataman liikenneyhteydet VUOLI. Helsinki. ISBN 978-952-223-250-2. 180 s.

Helsingin satama (2010). *Helsingin sataman vuosikertomus 2009*. [Viitattu 3.8.2010] saatavilla http://www.portofhelsinki.fi/content/pdf/julkaisut/HelSa_vsk_2009_net.pdf.

Huesig, A. et al. (1999). *Hydraulic and environmental impacts of high speed cargo ships on inland waterways*. Conference paper. First European Inland Waterway Navigation Conference. Balatonfüred, June 9.-11. 1999.

Ilmatieteenlaitos verkkosivut (2010). *Aaltoennuste*. [Viitattu 9.8.2010] Saatavilla http://www.fmi.fi/saa/meri_12.html.

Itämeriportaali, verkkosivut (2010). *Tuulen kehittämien aaltojen elinkaari*. [Viitattu 7.9.2010] Saatavilla http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/yleiskuvaus/veden_liikkeet/aallot/fi_FI/aaltojen-elinkaari/

Kerkelä, S. (2008). Väyläpäällikkö. Muistio 8.9.2008.

Keränen, V. ja Leinonen, M. (2009). *Alusten käsittelyn teoria ja simulaattoriharjoitukset*. Opin- näytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Merenkulun koulutusohjelma. Kotka. 44 s.

Ketonen, J. (2010). Finnpiilot Oy:n luotsinvanhin. Sähköpostiviesti 12.8.2010.

Kostiainen, K. (2008). *Vuosaaren meriväylän turvallisuus*. Kalvoesitys Logistics 2008 - tapahtumassa. [Viitattu 2.7.2010]. Saatavilla http://www.wanhasatama.com/dman/Document.phx/Omat+kansiot/Tapahtumat/2008/Logistics08/F_Kostiainen?folderId=Omat%2Bkansiot%2FTapahtumat%2F2008%2FLogistics08&cmd=download.

Kämäräinen, J et al. (2009). *Suomen kansainvälisen meriliikenteen päästöt 2008 -tietokonemalli MERIMA*. Julkaisematon työraportti. Helsinki. 33 s.

Larjo, K et al. (2010). *Luotsaustyö ja sen kehitys*. Onnettomuustutkintakeskuksen julkaisuja. Helsinki. ISBN 978-951-836-279-4. 169 s.

Lewis, E (toim.). (1989). *Principles of Naval Architecture (Second Revision), Volume III - Motions in Waves and Controllability*. Society of Naval Architects and Marine Engineers. ISBN 978-0-939773-02-2. 451 s.

Liikennevirasto (2010). *Vesiliikennelain soveltamisohje*. Julkaisematon, versio 0.3. 14.4.2010.

LIPASTO verkkosivut (2010 a). *Laivaliikenteen yksikköpäästöjen määrittäysperusteet*. [Viitattu 5.7.2010] Saatavilla http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/vesiliikenne/maaritysperusteet_tavara_vesi.htm.

LIPASTO verkkosivut (2010 b). *Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä, järjestelmäkuvaukset*. [Viitattu 6.7.2010] Saatavilla <http://lipasto.vtt.fi/meeri/meeri08.htm>.

LIPASTO verkkosivut (2010 c). *Liikennevälineiden yksikköpäästöt*. [Viitattu 2.8.2010] Saatavilla http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/vesiliikenne/tavara_vesi.htm.

Luhtanen, R. (toim.). (2009). *Merenkulun lainsäädäntö 2009*. Lakikokoelmat. Edita Publishing Oy. Helsinki. ISBN 978-951-37-5100-5. 804 s + liit. 31 s.

Madekivi, O. (toim.). (1993). *Alusten aiheuttamien aaltojen ja virtausten ympäristövaikutukset*. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja -sarja A 166. Helsinki. ISBN 951-47-8490-1. 113 s.

Madekivi, O. (1995). *Vesiliikenteen ympäristövaikutukset ja niiden arviointi*. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto. Espoo. 117 s.

Matusiak, J. (2005). *Laivan propulsio*. Teknillinen korkeakoulu, Laivalaboratorio. Opetusmoniste M 176. Espoo. ISBN 951-22-1694-9. 140s.

Matusiak, J. (2010). *Laivan kulkuvastus*. Teknillinen korkeakoulu, Laivalaboratorio. Opetusmoniste M 289. Espoo. ISBN 978-952-60-3018-0. 59 s.

Merenkululaitos. (2001). *Laivaväylien suunnitteluohjeet*. Merenkululaitoksen sisäisiä julkaisuja 1/2001. Helsinki. ISSN 1456-9442. 42 s. + liit 13 s.

Merenkululaitos. (2005 a). *Kökarin väyläsuunnitelman riskianalyysi*. Merenkululaitoksen sisäisiä julkaisuja 9/2005. Helsinki. ISBN 951-49-2106-2. 93 s.

Merenkululaitos. (2005 b). *Väyliä syvyyskäytäntö*. Merenkululaitoksen tiedotuslehti 8/12.7.2005. Dnro 1343/610/2005.

Merenkululaitos. (2009 a). *Suomen merikuljetusten toimintaympäristön muutokset*. Merenkululaitoksen julkaisuja 4/2009. Helsinki. ISBN 978-951-49-2154-4. 56 s.

Merenkululaitos. (2009 b). *Ulkomaan meriliikenteen kuukausitilastot, Joulukuu 2009*. ISSN (sähköinen) 1795 – 5106. ISSN (painettu) 1795 – 5068.

Merenkululaitos. (2009 c). *Merenkululaitoksen viranomaistoiminta vesiväyläasioissa*. Merenkululaitoksen julkaisuja 2/2009. Helsinki. ISBN 978-951-49-2149-0. 29 s.

Merenkululaitos. (2009 d). *Aluskustannukset 2009*. Merenkululaitoksen julkaisuja 3/2009. ISBN 978-951-49-2150-6. Helsinki. 59 s.

Merentutkimuslaitos. (2010). *Aallokko Itämerellä, kalvoesitys*. [Viitattu 13.3.2010]. Saatavilla http://www.fmi.fi/kuvat/Aallokko_Itamerella.pdf.

Merilaki. (1994). *Merilaki 15.7.1994/674*. [Viitattu 12.7.2010]
Saatavilla <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940674>.

Mäkelä, K. et al. (2009). *Suomen vesiliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä MEERI 2008*. VTT tutkimusraportti VTT-R- 08702-09. Espoo. 35 s + liit. 11 s.

Noroviita, K. (2009). Vuosaaren satamakeskuksen johtaja. Sähköpostiviesti 7.8.2009.

Noroviita, K. (2010). Vuosaaren satamakeskuksen johtaja. Sähköpostiviesti 18.8.2010.

Pettersson, H. (2010). *Aallot Itämerellä. Ilmatieteenlaitos, kalvoesitys*. [Viitattu 17.4.2010] saatavilla <http://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuvat/Aallokko.pdf>.

Rytkönen, J. et al. (2001). *Laivojen aiheuttama aalto- ja virtaushäiriö rannassa. Aalto- ja virtausmittaukset Airstolla 02.-05.2000*. VTT, Valmistustekniikka. Espoo. Tutkimusraportti BVAL34-001016. 40 s + liit 51 s.

Rytkönen, J. et al. (2002). *Alusten aiheuttama aalto- ja virtaushäiriö*. VTT, Valmistustekniikka. Espoo. Tutkimusraportti VAL34-013037. 77 s + liit 7 s.

Rytkönen J. ja Sassi, J. (2002). *Defining Wind Limits in European Ports, questionnaire survey*. VTT Industrial Systems. Espoo. Research Report BVAL34-011177. 13 s + liit. 19 s.

Salmela, R. ja Soimakallio, H. (1996). *Vuosaaren satamahanke ja Vuosaaren 11 m:n väylä, Vesi-oikeudelliset hakemusiakirjat*. IVO International Oy, Ympäristö- ja perusparannukset.

Suomen kaupunkiliitto. (1981). *Venesatamien suunnittelu*. Kaupunkiliiton julkaisuja C 38. Helsinki. ISBN 951-759-167-5. 90 s.

Talja, S. (2010). Suomenlahden meriliikennekeskuksen päällikkö. Sähköpostiviesti 2.7.2010.

Tulli. (2000-2008). *Ulkomaankauppa 2000–2008 taskutilastot*. Tullihallituksen tilastojulkaisu- ja. [Viitattu 14.4.2010]. Saatavilla http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/ulkomaankauppatilastot/tilastokatsaukset/muut_katsaukset/taskut/index.jsp.

Tuomi, L. et al. (2010). *Aallokko Itämerellä*. Merentutkimuslaitos. Kalvoesitys. [Viitattu 15.4.2010] Saatavilla http://www.fmi.fi/kuvat/Aallokko_Itamerella.pdf.

U.S. Army. (2006). *Coastal Engineering Manual*. U.S. Army Corps of Engineers. Washington, DC. ISBN (sähköinen) 978-1-60119-026-0. 2914 s.

Verhey, H. ja Bogaerts, M. (1989). *Ship waves and the stability of armour layers protecting slopes*. Delft Hydraulics publication nro 428. 9 s.

Vesilaki (1961). *Vesilaki 19.5.1961/264*. [Viitattu 12.7.2010]
Saatavilla <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1961/19610264>

Vesiliikennelaki (1996). *Vesiliikennelaki 20.6.1996/463*. [Viitattu 12.7.2010]
Saatavilla <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19960463>

Vesiliikenneasetus (1997). *Vesiliikenneasetus 7.2.1997/124*. [Viitattu 12.7.2010]
Saatavilla <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1997/19970124>

Vuosaaren väylän alusten aaltovaikutusarviointi

Aallonkorkeusyhtälö

$$\frac{H_L}{h} = \alpha_1 \left(\frac{s}{h} \right)^{-0,33} \cdot F_{m1}^{\alpha_3} \cdot \alpha_2 = 1.2 \cdot 4$$

	Nopeus solmua	km/h	m/s	Kesk. määrätyn vesisyyys m	Frouden luku	Suuntakulma astetta	Aaltojen kulkutumismatka m	Aallonkorkeus Hs m	Aallonpituus m	Periodi s
Itäitoukki	25	46.3	12.86	30	0.75	-	-	-	-	-
	20	37.04	10.29	30	0.60	35.3	800	1.6	45.4	5.4
	15	27.78	7.72	30	0.45	35.3	800	0.5	25.6	4.0
Länsitoukki	25	46.3	12.86	40	0.65	-	-	-	-	-
	20	37.04	10.29	40	0.52	35.3	3000	0.8	45.4	5.4
	15	27.78	7.72	40	0.39	35.3	3000	0.3	25.6	4.0
Eestiluoto	25	46.3	12.86	30	0.75	-	-	-	-	-
	20	37.04	10.29	30	0.60	35.3	800	1.6	45.4	5.4
	15	27.78	7.72	30	0.45	35.3	800	0.5	25.6	4.0
Kuiva Hevonen	20	37.04	10.29	20	0.73	-	-	-	-	-
	16	29.63	8.23	20	0.59	35.3	1000	0.8	29.1	4.3
	14	25.93	7.20	20	0.51	35.3	1000	0.5	22.3	3.8
Venesdama	12	22.22	6.17	20	0.44	35.3	1000	0.2	16.4	3.2
	10	18.52	5.14	20	0.37	35.3	1000	0.1	11.4	2.7
Kuiva Hevonen	20	37.04	10.29	20	0.73	-	-	-	-	-
	16	29.63	8.23	20	0.59	35.3	500	1.0	29.1	4.3
	14	25.93	7.20	20	0.51	35.3	500	0.6	22.3	3.8
Luoteiskärki	12	22.22	6.17	20	0.44	35.3	500	0.3	16.4	3.2
	10	18.52	5.14	20	0.37	35.3	500	0.2	11.4	2.7
Kuiva Hevonen	20	37.04	10.29	20	0.73	-	-	-	-	-
	16	29.63	8.23	20	0.59	35.3	1200	0.7	29.1	4.3
	14	25.93	7.20	20	0.51	35.3	1200	0.4	22.3	3.8
Kauppalahti	12	22.22	6.17	20	0.44	35.3	1200	0.2	16.4	3.2
	10	18.52	5.14	20	0.37	35.3	1200	0.1	11.4	2.7

LIITTEET

Liite A.1 Laiva-aaltojen maksimikorkeudet ja periodit väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla aallonkorkeusyhtälöllä arvioituna

Kuiva Hevonen Pohjoisranta	20	37.04	10.29	20	0.73	-	-	-	-
	16	29.63	8.23	20	0.59	35.3	700	0.9	29.1
	14	25.93	7.20	20	0.51	35.3	700	0.5	22.3
	12	22.22	6.17	20	0.44	35.3	700	0.3	16.4
Musta Hevonen	10	18.52	5.14	20	0.37	35.3	700	0.1	11.4
	20	37.04	10.29	15	0.85	-	-	-	-
	16	29.63	8.23	15	0.68	35.3	1600	0.8	29.1
	14	25.93	7.20	15	0.59	35.3	1600	0.5	22.3
Krokkholmen Pohjoiskärki	12	22.22	6.17	15	0.51	35.3	1600	0.3	16.4
	10	18.52	5.14	15	0.42	35.3	1600	0.1	11.4
	14	25.93	7.20	15	0.59	35.3	400	0.8	22.3
	13	24.08	6.69	15	0.55	35.3	400	0.6	19.2
Pilkku Niinisaari Eteläranta	12	22.22	6.17	15	0.51	35.3	400	0.4	16.4
	11	20.37	5.66	15	0.47	35.3	400	0.3	13.7
	10	18.52	5.14	15	0.42	35.3	400	0.2	11.4
	9	16.67	4.63	15	0.38	35.3	400	0.1	9.2
Eteläranta	14	25.93	7.20	15	0.59	35.3	1200	0.5	22.3
	13	24.08	6.69	15	0.55	35.3	1200	0.4	19.2
	12	22.22	6.17	15	0.51	35.3	1200	0.3	16.4
	11	20.37	5.66	15	0.47	35.3	1200	0.2	13.7
	10	18.52	5.14	15	0.42	35.3	1200	0.1	11.4
	9	16.67	4.63	15	0.38	35.3	1200	0.1	9.2

Liite A.2 Laiva-aaltojen maksimikorkeudet ja periodit väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla vaimentumisyhtälöllä arvioituna

Aallokon vaimentuminen etäisyyden funktiona

$$\frac{H(r)}{H_0} = \left(\frac{r}{r_0} \right)^d$$

	Aallonkorkeus H _o (m)	Etäisyys keskilinjasta alussa (m)	Aaltojen kulkeutumismatka (m)	Aallonkorkeus H _s d=-1/2 (m)	Aallonkorkeus H _s d=-1/3 (m)
<i>Itätoukki</i>	1.5	50	800	0.4	0.6
	1	50	800	0.3	0.4
	0.8	50	800	0.2	0.3
	0.6	50	800	0.2	0.2
	0.4	50	800	0.1	0.2
	0.2	50	800	0.1	0.1
<i>Länsitoukki</i>	1.5	50	3000	0.2	0.4
	1	50	3000	0.1	0.3
	0.8	50	3000	0.1	0.2
	0.6	50	3000	0.1	0.2
	0.4	50	3000	0.1	0.1
	0.2	50	3000	0.0	0.1
<i>Eestiluoto</i>	1.5	50	800	0.4	0.6
	1	50	800	0.3	0.4
	0.8	50	800	0.2	0.3
	0.6	50	800	0.2	0.2
	0.4	50	800	0.1	0.2
	0.2	50	800	0.1	0.1
<i>Kuiva Hevonen Venesatama</i>	1.5	50	1000	0.3	0.6
	1	50	1000	0.2	0.4
	0.8	50	1000	0.2	0.3
	0.6	50	1000	0.1	0.2
	0.4	50	1000	0.1	0.1
	0.2	50	1000	0.0	0.1
<i>Kuiva Hevonen Luoteiskärki</i>	1.5	50	500	0.5	0.7
	1	50	500	0.3	0.5
	0.8	50	500	0.3	0.4
	0.6	50	500	0.2	0.3
	0.4	50	500	0.1	0.2
	0.2	50	500	0.1	0.1
<i>Kuiva Hevonen Kauppalaituri</i>	1.5	50	1200	0.3	0.5
	1	50	1200	0.2	0.3
	0.8	50	1200	0.2	0.3
	0.6	50	1200	0.1	0.2
	0.4	50	1200	0.1	0.1
	0.2	50	1200	0.0	0.1

<i>Kuiva Hevonen Pohjoisranta</i>	1.5	50	700	0.4	0.6
	1	50	700	0.3	0.4
	0.8	50	700	0.2	0.3
	0.6	50	700	0.2	0.2
	0.4	50	700	0.1	0.2
	0.2	50	700	0.1	0.1
<i>Musta Hevonen</i>	1.5	50	1600	0.3	0.5
	1	50	1600	0.2	0.3
	0.8	50	1600	0.1	0.3
	0.6	50	1600	0.1	0.2
	0.4	50	1600	0.1	0.1
	0.2	50	1600	0.0	0.1
<i>Krokholmen Pohjoiskärki</i>	1.5	50	400	0.5	0.8
	1	50	400	0.4	0.5
	0.8	50	400	0.3	0.4
	0.6	50	400	0.2	0.3
	0.4	50	400	0.1	0.2
	0.2	50	400	0.1	0.1
<i>Pikku Niinisaari Eteläranta</i>	1.5	50	1200	0.3	0.5
	1	50	1200	0.2	0.3
	0.8	50	1200	0.2	0.3
	0.6	50	1200	0.1	0.2
	0.4	50	1200	0.1	0.1
	0.2	50	1200	0.0	0.1
<i>Pikku Niinisaari Itäranta</i>	1.5	50	400	0.5	0.8
	1	50	400	0.4	0.5
	0.8	50	400	0.3	0.4
	0.6	50	400	0.2	0.3
	0.4	50	400	0.1	0.2
	0.2	50	400	0.1	0.1
<i>Mölandet</i>	1.5	50	600	0.4	0.7
	1	50	600	0.3	0.4
	0.8	50	600	0.2	0.3
	0.6	50	600	0.2	0.3
	0.4	50	600	0.1	0.2
	0.2	50	600	0.1	0.1

Liite A.3 Arvioitu luonnonaallokon merkitsevä aallonkorkeus ja huippuperiodi väylän varrella sijaitsevien saarten rannoilla

Arvioitu tuuliaallokko

$$H_s = 0,02013 X^{0,55} U^{0,90}$$

$$T_m = 0,605 X^{0,33} U^{0,34}$$

Tuulen suunta		Nopeus m/s	Pyyhkäysmatka km	Kaavalla		Nomogrammi	
				H(s) m	Periodi s	H(s) m	Periodi s
Itätoukki	SW	5	50	0.7	3.8	0.5	3
		10	50	1.4	4.8	1.2	3.9
		15	50	2.0	5.5	1.8	4.5
Länsitoukki	E	5	50	0.7	3.8	0.5	3
		10	50	1.4	4.8	1.2	3.9
		15	50	2.0	5.5	1.8	4.5
Eestiluoto	S / SW	5	30	0.6	3.2	0.4	2.5
		10	30	1.0	4.1	0.9	3.3
		15	30	1.5	4.7	1.5	3.7
Kuiva Hevonen Venesatama	SW	5	6	0.2	1.9	0.18	1.5
		10	6	0.4	2.4	0.4	1.8
		15	6	0.6	2.7	0.6	2.3
Kuiva Hevonen Luoteiskärki	N / NW	5	5	0.2	1.8	0.18	1.4
		10	5	0.4	2.3	0.35	1.7
		15	5	0.6	2.6	0.6	2.1
Kuiva Hevonen Kauppalahturi	N / NW	5	5	0.2	1.8	0.18	1.4
		10	5	0.4	2.3	0.35	1.7
		15	5	0.6	2.6	0.6	2.1
	NE	5	2	0.1	1.3	0.1	1
		10	2	0.2	1.7	0.2	1.4
		15	2	0.3	1.9	0.35	1.6
Kuiva Hevonen Pohjoisranta	N / NW	5	5	0.2	1.8	0.18	1.4
		10	5	0.4	2.3	0.35	1.7
		15	5	0.6	2.6	0.6	2.1
Musta Hevonen	E / SW	5	5	0.2	1.8	0.18	1.4
		10	5	0.4	2.3	0.35	1.7
		15	5	0.6	2.6	0.6	2.1
Krokholmen Länsi- / Pohjoisranta	NE / W	5	2	0.1	1.3	0.1	1
		10	2	0.2	1.7	0.2	1.4
		15	2	0.3	1.9	0.35	1.6
Pikku Niinisaari Eteläranta	S / SW	5	2	0.1	1.3	0.1	1
		10	2	0.2	1.7	0.2	1.4
		15	2	0.3	1.9	0.35	1.6
Pikku Niinisaari Itäranta	E	5	2	0.1	1.3	0.1	1
		10	2	0.2	1.7	0.2	1.4
		15	2	0.3	1.9	0.35	1.6
Mölandet	S	5	2	0.1	1.3	0.1	1
		10	2	0.2	1.7	0.2	1.4
		15	2	0.3	1.9	0.35	1.6



Enquiry: The minimum required vessel speeds to the safe manoeuvring on the Vuosaari channel

Shipping company x: Masters

Purpose of this enquiry is to find out masters' opinions of the minimum required vessel speeds on the Vuosaari channel with different types of vessels in different wind conditions. This enquiry is a part of the master's thesis that examines, how environmental effects (generated by currents and waves) of vessel traffic depend on the speeds of the vessel on the Vuosaari channel.

We wish that you would answer to the following five questions on this questionnaire. You can write your answers to those grey fields after each question. In the end of the questionnaire, there is some free space to write your additional comments, opinions etc.

When you have completed the questionnaire, we would ask you to save it, and send it back as e-mail attachment to seppo.paukkeri@liikennevirasto.fi. We wish you could return the questionnaire quite soon, however, by 31.7.2010.

QUESTIONNAIRE

1. Vessel's details

Vessel's name

Vessel's type

Vessel's

length m

beam m

draught, max. m

Main engine power kW

Propeller system

Additional information about the vessel (not necessary)

2. How often do you operate on the Vuosaari channel?

3. In your opinion, what is your vessel's minimum speed required, in terms of safe manoeuvring on the channel?

A. In low wind conditions (the wind influences only a little the manoeuvring)

Between the harbour – Pikku Niinisaari – Krokholmen narrows

To harbour	kn
From harbour	kn

Between Krokholmen – Kuiva Hevonen – Festiluoto

To harbour	kn
From harbour	kn

B. In moderate and hard wind conditions

Between the harbour – Pikku Niinisaari – Krokholmen's narrows

Wind directions and speeds when the difficulties of manoeuvring begin

To harbour	kn
From harbour	kn

Between Krokholmen – Kuiva Hevonen – Festiluoto

Wind directions and speeds when the difficulties of manoeuvring begin

To harbour	kn
From harbour	kn

4. Do you have to use different speeds when operating in ice compared to open water conditions?

5. In your opinion, how important are the wind limits for different types of vessels in the Vuosaari Harbour?

Any other comments, opinions etc. ?

Thank You!



Kysely: Vuosaaren väylän nopeusrajoitusten vaikutukset alusturvallisuuteen

Varustamo x: Alusten päälliköt

Tämän kyselyn tarkoituksena on selvittää Vuosaaren väylällä liikennöivien alusten päälliköiden mielipiteitä alusten turvalliseen ohjailuun vaadittavista nopeuksista väylällä erilaisissa tuoliolosuhteissa. Kysely on osa Liikenneviraston Meriosastolla tehtävää diplomityötä, jossa tutkitaan alusten aallonmuodostuksella ja virtausvaikutuksilla aiheuttamia ympäristövaikutuksia Vuosaaren väylän varrella olevien saarten rannoilla. Työssä tutkitaan erityisesti nopeuden merkitystä ympäristövaikutusten syntymiseen.

Toivoisimme, että vastaisitte seuraaviin viiteen kohtaan kyselylomakkeella. Lomakkeen harmaisiin kenttiin voitte kuhunkin kirjoittaa vastauksenne. Lomakkeen lopussa on varattu tilaa vapaamuotoisille kommenteille, lisätiedoilla jne.

Kun olette täyttäneet lomakkeen, pyydämme teitä tallentamaan tiedoston ja lähettämään sen sähköpostilla osoitteeseen:

seppo.paukkeri@liikennevirasto.fi

Toivoisimme, että palauttaisitte lomakkeen mahdollisimman pian, kuitenkin viimeistään 31.7.2010.

KYSELY (kohdat 1-5)

1. Perustietoa aluksesta

Aluksen nimi

Alustyyppi

Aluksen

pituus m

leveys m

syväys max. m

Pääkoneen teho kW

Potkurijärjestelmä

Lisätietoja

2. Kuinka usein liikennöitte Vuosaaren väylällä?

3. Mikä on mielestänne vähimmäisnopeus aluksenne turvallisen ohjailun kannalta väylällä?

A. Heikoilla tuulilla (tuuli ei juuri vaikeuta ohjailua)

Vätillä Satama – Pikku Niinisaaren mutka – Krokholmenin ”ränni”

Sisään kn

Ulos kn

Vätillä Krokholmen – Kuiva Hevonen – Festiluoto

Sisään kn

Ulos kn

B. Keskikovalla ja kovalla tuulella

Vätillä Satama – Pikku Niinisaaren mutka – Krokholmenin ”ränni”

Tuulen suunnat ja nopeudet, joilla ohjailu väylällä alkaa jo vaikeutua

Sisään kn

Ulos kn

Vätillä Krokholmen – Kuiva Hevonen – Festiluoto

Tuulen suunnat ja nopeudet, joilla ohjailu väylällä alkaa jo vaikeutua

Sisään kn

Ulos kn

4. Tarvitaanko jäätälvinä jäissä ajettaessa tavanomaisesta poikkeavia nopeuksia?

5. Kuinka tarpeellisia ovat mielestänne eri alustypeille määritetyt sataman tuulirajat?

Vapaa sana

KIITOS VASTAUKSESTA!



Kysely: Alusten vähimmäisnopeudet turvallisen ohjailun kannalta Vuosaaren väylällä

Finnpilot: Luotsit

Tämän kyselyn tarkoituksena on selvittää Vuosaaren väylällä toimivien luotsien mielipiteitä vaadittavista alusnopeuksista turvalliseen ohjailuun väylällä, samanlainen kysely on käynnissä myös väylällä linjatiikennettä ajavien alusten päälliköille. Kysely on osa diplomityötä, joka tehdään Liikenneviraston Suomenlahden väyläyksikössä. Diplomityössä tutkitaan mm. alusnopeuksien vaikutusta Vuosaaren väylällä alusten aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin. Työtä tullaan käyttämään Vuosaaren väylän nopeusrajoitusten mahdolliseen uudelleen määrittämiseen. Nopeusrajoituksia määritettäessä on tärkeää tietää eri alustyyppien vaatimat vähimmäisnopeudet väylällä turvallisen ohjailun kannalta.

Toivoisimme, että vastaisitte seuraaviin neljään kohtaan kyselylomakkeella. Lomakkeen harmaisiin kenttiin voitte kuhunkin kirjoittaa vastauksenne, vastausten pituutta ei ole rajoitettu. Lomakkeen lopussa on varattu tilaa vapaamuotoisille kommenteille, lisätiedoilla jne.

Kun olette täyttäneet lomakkeen, pyydämme teitä tallentamaan tiedoston ja lähettämään sen sähköpostin liitteenä osoitteeseen seppo.paukkeri@liikennevirasto.fi. Toivoisimme, että palauttaisitte lomakkeen mahdollisimman pian, kuitenkin viimeistään **31.7.2010**.

KYSELY (kohdat 1-4)

1. Luotsattavat alukset (voitte valita 1-2 erilaista, tavallisesti ilman hinaajien apua kulkevaa alusta)

ALUS 1

Alustyyppi

pituus	m
leveys	m
Max. syväys	m
Pääkoneen teho	kW
Potkurijärjestelmä	

ALUS 2

Alustyyppi

pituus	m
leveys	m
max. syväys	m
Pääkoneen teho	kW
Potkurijärjestelmä	

2. Mitkä ovat luotsaamienne alusten vähimmäisnopeudet turvallisen ohjailun kannalta väylällä?

A. Heikoilla tuulilla (=tuuli ei juuri vaikeuta ohjailua)

ALUS 1

Vätiillä Satama – Pikku Niinisaaren mutka – Krokholmenin ”ränni”

Sisään kn

Ulos kn

Vätiillä Krokholmen – Kuiva Hevonen – Festiluoto

Sisään kn

Ulos kn

ALUS 2

Vätiillä Satama – Pikku Niinisaaren mutka – Krokholmenin ”ränni”

Sisään kn

Ulos kn

Vätiillä Krokholmen – Kuiva Hevonen – Festiluoto

Sisään kn

Ulos kn

B. Kovalla tuulella

ALUS 1

Vätiillä Satama – Pikku Niinisaaren mutka – Krokholmenin ”ränni”

Tuulen suunnat ja nopeudet, joilla ohjailu väylällä alkaa jo vaikeutua

Sisään kn

Ulos kn

Vätiillä Krokholmen – Kuiva Hevonen – Festiluoto

Tuulen suunnat ja nopeudet, joilla ohjailu väylällä alkaa jo vaikeutua

Sisään kn

Ulos kn

ALUS 2

Väliä Satama – Pikku Niinisaaren mutka – Krokholmenin ”ränni”

Tuulen suunnat ja nopeudet, joilla ohjailu väylällä alkaa jo vaikeutua

Sisään kn

Ulos kn

Väliä Krokholmen – Kuiva Hevonen – Festiluoto

Tuulen suunnat ja nopeudet, joilla ohjailu väylällä alkaa jo vaikeutua

Sisään kn

Ulos kn

Mahdollisia lisähuomioita alusten ohjailusta, hinaajatarpeesta jne.

3. Tarvitaanko jäätälvinä jäissä ajettaessa avovesikaudesta poikkeavia (suurempia) nopeuksia väylällä?

4. Kuinka tarpeellisia ovat mielestänne eri alustypeille määritetyt sataman tuulirajat?

Vapaa sana

KIITOS VASTAUKSESTANNE!

94

Konttialukset				Lastinotok/yky		1300 TEU	
				Kontteja keskimäärään		65 %	
				Työjia kontteja keskm.		23 %	
				Lastipaino/TEU		9 t	
				Lastin kok. paino		5855.85 t	

TUULOKSET			Reitti- ja lastitiedot			Aluksen tiedot			Polttoainetiedot							
Nopeus (km/h)	Pitus (km)	Kuljetettu lasti (tonnia)	Suorite (tonn/km)	Tyyppi	Koko	Kulutus (kg)	Kustannus (€)	Hiili- monoksidit (CO)	Hiilivedyt (HC)	Tyypen oksidit (NOx)	Hiilidioksidit (SO2)	Yhteensä (CO2)				
40	1	6 000	6 000 0	Konttialus	1300 TEU	85.9158	33.0733	0.2265	0.0460	6.3177	0.1337	0.0226	0.0077	2.0705	273.5902	276.4426
35	1	6 000	6 000 0	Konttialus	1300 TEU	66.1105	25.4492	0.1743	0.0354	4.8614	0.1029	0.0174	0.0059	1.5932	210.5223	212.7177
30	1	6 000	6 000 0	Konttialus	1300 TEU	47.7662	18.3876	0.1259	0.0255	3.5124	0.0743	0.0125	0.0043	1.1511	152.1066	153.6922
25	1	6 000	6 000 0	Konttialus	1300 TEU	33.3267	12.8299	0.0879	0.0178	2.4508	0.0519	0.0088	0.0030	0.8031	106.1318	107.2383
21	1	6 000	6 000 0	Konttialus	1300 TEU	23.8028	9.1629	0.0627	0.0127	1.7503	0.0370	0.0063	0.0021	0.5735	75.7977	76.5880

TUULOKSET		Paastokustannukset (€/km)					
Hiili- monoksidit (CO)	Hiilivedyt (HC)	Tyypen oksidit (NOx)	Hiukkaset (PM)	Rikki- dioksidit (SO2)	Hiilidioksidit i (CO2)	Yhteensä	
40	0.000	0.006	2.211	0.909	1.346	8.755	13.227
35	0.000	0.004	1.701	0.700	1.036	6.737	10.178
30	0.000	0.003	1.229	0.506	0.748	4.867	7.354
25	0.000	0.002	0.858	0.353	0.522	3.396	5.131
21	0.000	0.002	0.613	0.252	0.373	2.426	3.664

PAASTOKUSTANNUKSET		Mallin käytämät yksikkökustannukset (€/paastotoni)				
Hiili- monoksidit (CO)	Hiilivedyt (HC)	Tyypen oksidit (NOx)	Hiukkaset (PM)	Rikki- dioksidit (SO2)	Hiilidioksidit i (CO2)	
Satamassa	17	160	990	29 600	2 630	32
Rannikolla	2,00	120	350	6 800	650	32
Avomerellä	0.40	120	290	4 100	430	32

Lasituskapasiteetti	1000 TEU
Konttien keskimääräinen	65 %
Työjälä konttien keskim.	23 %
Lasituspaino/TEU	9 t
Lasitusten kok.paino	4504,5 t

TULOKSET																
Nopeus (km/h)	Reitti- ja lastitiedot			Aluksen tiedot		Polttoainetiedot				Päästöt (kg)						
	Pituus (km)	Kuljetettu lasti (tonnia)	Suorite (tonnikm)	Typpi	Koko	Kulutus (kg)	Kustannus (€)	Hilii- monoksidi (CO)	Hilii- edyt (HC)	Typpi- oksidit (NOx)	Huukkaset (PM)	Metaani (CH4)	Typpi- oksidit (N2O)	Rikki- dioksidi (SO2)	Hilidioksidi I Hilidioksidi- ekvivalentti (CO2 ekv.)	
40	1	4 500	4 500,0	Konttialus	1000 TEU	73,6	28,343	0,19	0,04	5,41	0,11	0,02	0,01	1,77	234,46	236,91
35	1	4 500	4 500,0	Konttialus	1000 TEU	56,7	21,810	0,15	0,03	4,17	0,09	0,01	0,01	1,37	180,42	182,30
30	1	4 500	4 500,0	Konttialus	1000 TEU	40,9	15,758	0,11	0,02	3,01	0,06	0,01	0,00	0,99	130,35	131,71
25	1	4 500	4 500,0	Konttialus	1000 TEU	28,6	10,995	0,08	0,02	2,10	0,04	0,01	0,00	0,69	90,95	91,90
21	1	4 500	4 500,0	Konttialus	1000 TEU	20,4	7,852	0,05	0,01	1,50	0,03	0,01	0,00	0,49	64,96	65,63

TULOKSET		Päästökustannukset (€/km)					
	Hilili- monoksidi (CO)	Hililivedyt (HC)	Tyypin oksidit (NOx)	Huukkaset (PM)	Riikki- dioksidi (SO2)	Hililidioksidi (CO2)	Yhteensä
40	0.000	0.005	1.895	0.779	1.153	7.503	11.336
35	0.000	0.004	1.458	0.600	0.887	5.773	8.722
30	0.000	0.003	1.054	0.433	0.641	4.171	6.302
25	0.000	0.002	0.735	0.302	0.447	2.910	4.387
21	0.000	0.001	0.525	0.216	0.319	2.079	3.140

Ropax-alukset

Trailereita	80 % kapasiteetista
Joiista tyhjiä	15 % trailereista
Keskipaino/traileri	14 tonnia
Lastinottokyky	4216 kaista m
Trailerin pituus	12,5 m
Trailereita	337 kpl
Trailerien kok.paino	3777,54 t
Lastin kok.paino	3800 t

TULOKSET																
Nopeus (km/h)	Pituus (km)	Reitti- ja lastitiedot		Aluksen tiedot		Polttoainetiedot		Päästöt (kg)								
		Kuljetettu lasti (tonnia)	Suorite (tonnikm)	Tyyppi	Koko	Kulutus (kg)	Kustannus (€)	Hilji- monoksidi (CO)	Hiljivedyt (HC)	Tyypen oksidit (NOx)	Huukaset (PM)	Metaani (CH4)	Tyyppi- oksiduutit (N2O)	Rikki- dioksidi (SO2)	Hiljidioksidi + ekvivalentti (CO2 ekv.)	
40	1	3 800,0	3 800,0	Roro lastiautaus	330 traileria	133,6	51,423	0,35	0,07	8,85	0,21	0,04	0,01	3,22	425,38	429,82
35	1	3 800,0	3 800,0	Roro lastiautaus	330 traileria	102,3	39,371	0,27	0,05	6,78	0,16	0,03	0,01	2,46	325,68	329,08
30	1	3 800,0	3 800,0	Roro lastiautaus	330 traileria	75,1	28,926	0,20	0,04	4,98	0,12	0,02	0,01	1,81	239,28	241,78
25	1	3 800,0	3 800,0	Roro lastiautaus	330 traileria	52,2	20,088	0,14	0,03	3,46	0,08	0,01	0,00	1,26	166,17	167,90
20	1	3 800,0	3 800,0	Roro lastiautaus	330 traileria	33,4	12,856	0,09	0,02	2,21	0,05	0,01	0,00	0,80	106,35	107,46

TULOKSET										Päästökustannukset (€/km)	
Hilji- monoksidi (CO)		Hiljivedyt (HC)		Tyypen oksidit (NOx)		Huukaset (PM)		Rikki- dioksidi (SO2)		Hiljidioksidi I (CO2)	Yhteensä
40	0,001	0,008	3,098	1,430	2,093	13,612	20,241				
35	0,001	0,006	2,372	1,095	1,602	10,422	15,497				
30	0,000	0,005	1,742	0,804	1,177	7,657	11,386				
25	0,000	0,003	1,210	0,558	0,817	5,317	7,907				
21	0,000	0,002	0,774	0,357	0,523	3,403	5,061				

Traileria	80 % kapasiteetista
Joista tyhjia	15 % trailerista
Keskipaino/traileri	14 tonnia
Lastinottoiky	1775 kaista m
Trailerin pituus	12.5 m
Traileria	142 kpl
Trailerien kok.paino	1590.4 t
Lastin kok.paino	1600 t

Roro-alukset

TULOKSET		Reitti- ja lastitiedot		Aluksen tiedot		Polttoainetiedot		Päästöt (kg)							
Pituus (km)	Kuljetettu lasti (tonnia)	Suurite (tonnikm)	TYYPPI	Koko	Kulutus (kg)	Kustannus (€)	Hilii- monoksidi (CO)	Hilii-edyt (HC)	Typen oksidit (NOx)	Huukkaset (PM)	Metaani (CH4)	Typi- oksidit (N2O)	Rikki- dioksidi (SO2)	Hilii- dioksidi (CO2)	Hilii- dioksidi- ekvivalentti (CO2 ekv.)
40	1	1 600	Roro lastitatus	150 traileria	95.6	36.808	0.25	0.05	6.34	0.15	0.03	0.01	2.30	304.48	307.66
35	1	1 600	Roro lastitatus	150 traileria	73.2	28.181	0.19	0.04	4.85	0.12	0.02	0.01	1.76	233.12	235.55
30	1	1 600	Roro lastitatus	150 traileria	53.8	20.704	0.14	0.03	3.56	0.08	0.01	0.00	1.30	171.27	173.06
25	1	1 600	Roro lastitatus	150 traileria	37.4	14.378	0.10	0.02	2.47	0.06	0.01	0.00	0.90	118.94	120.18
20	1	1 600	Roro lastitatus	150 traileria	23.9	9.202	0.06	0.01	1.58	0.04	0.01	0.00	0.58	76.12	76.92

TULOKSET									
		Päästökustannukset (€/km)							
Hilii- monoksidi (CO)	Hilii-edyt (HC)	Typen oksidit (NOx)	Huukkaset (PM)	Rikki- dioksidi (SO2)	Hilii- dioksidi (CO2)	Yhteensä			
40	0.001	0.006	2.217	1.023	1.498	9.743	14.488		
35	0.000	0.005	1.698	0.783	1.147	7.460	11.093		
30	0.000	0.003	1.247	0.576	0.843	5.481	8.150		
25	0.000	0.002	0.866	0.400	0.585	3.806	5.660		
21	0.000	0.002	0.554	0.256	0.374	2.436	3.622		

Liite C.2 Väylän alusliikenteen polttoaineenkulutus, päästöt ja näiden kustannukset nopeusrajoitusvaihtoehdoilla 1-3

Nopeusrajoitusvaihtoehto 1									
Alustyyppi		Nopeus km/h	Matka km						
Kontti		30	28.5						
		25	3.5						
Konttifeeder		30	28.5						
		25	3.5						
Ropax		40	28.5						
		30	3.5						
Roro		35	28.5						
		30	3.5						

Austäyntejä satamassa (kpl/vuosi)									
Kontti 1/9		Feeder 2/9							
		3100	344	689	1033	1033			
		4000	444	889	1333	1333			
		5000	566	1111	1667	1667			

Nopeus (km/h)		Pituus (km)	Kuljetettu lasti (tonnia)	Suorite (tonnikm)	Aluksen tiedot		Polttoainetiedot												
					Aluksen tyyppi	Koko	Kulutus (kg)	Kustannus (€)	Hilji-monoksidi (CO)	Hiljiueyrt (HC)	Typen oksidi (NOx)	Huikkaset (PM)	Metaani (CH4)	Typi- oksidi (N2O)	Rikki- dioksidi (SO2)	Hiljidioksidi (CO2)	Hiljidioksidi- ekvivalentti (CO2 ekv.)		
Nopeus (km/h)	30	1	6 000	6 000.0	Konttiaus	1300 TEU	47.8	18.4	0.13	0.03	3.51	0.07	0.01	0.00	1.15	152.11	153.69		
	25	1	6 000	6 000.0	Konttiaus	1300 TEU	33.3	12.8	0.09	0.02	2.45	0.05	0.01	0.00	0.80	106.13	107.24		
	Alkuosa	28.50					1361.3357	524.04618	3.58863277	0.728147666	100.104	2.11879	0.357661	0.121571	32.80519	4335.03141	4380.2331		
	Loppuosa	3.50					116.65034	44.90455	0.307504434	0.062395734	8.577686	0.18155	0.030639	0.010417	2.810905	371.461357	375.33407		
	Yhteensä	32.00					1478.0	569.0	3.9	0.8	108.7	2.3	0.4	0.1	35.6	4706.5	4755.6		
30	1	4 500	4 500.0	Konttiaus	1000 TEU	41.3	14.203	0.11	0.02	3.03	0.06	0.01	0.00	1.15	131.63	133.00			
	25	1	4 500	4 500.0	Konttiaus	1000 TEU	28.9	9.947	0.08	0.02	2.12	0.04	0.01	0.00	0.80	92.18	93.14		
	Alkuosa	28.50					1176.7231	404.79274	3.104197714	0.633604368	86.45481	1.820395	0.308824	0.105	32.68355	3751.39315	3790.4285		
	Loppuosa	3.50					101.2048	34.814451	0.267061277	0.054649873	7.432848	0.156152	0.026551	0.009027	2.801228	322.640899	325.997		
	Yhteensä	32.00					1277.9	438.6	3.4	0.7	93.9	2.0	0.3	0.1	35.5	4074.0	4116.4		
40	1	3 800.0	3 800.0	Roro lastialus	330 traileria	133.6	51.423	0.35	0.07	8.85	0.21	0.04	0.01	3.22	425.38	429.82			
	30	1	3 800.0	Roro lastialus	330 traileria	75.1	28.926	0.20	0.04	4.98	0.12	0.02	0.01	1.81	239.28	241.78			
	Alkuosa	28.50					3807.1046	1465.5449	10.02258731	2.011088991	252.2406	5.991866	1.001437	0.340489	91.74977	12123.3438	12249.526		
	Loppuosa	3.50					262.9943	101.23665	0.692398836	0.138927262	17.4247	0.413913	0.069179	0.023521	6.337985	837.479037	846.22327		
	Yhteensä	32.00					4070.1	1566.8	10.7	2.2	269.7	6.4	1.1	0.4	98.1	12960.8	13096.1		
35	1	1 600	1 600	Roro lastialus	160 traileria	73.2	28.181	0.19	0.04	4.85	0.12	0.02	0.01	1.76	233.12	235.55			
	30	1	1 600	Roro lastialus	160 traileria	53.8	20.704	0.14	0.03	3.56	0.08	0.01	0.00	1.30	171.27	173.06			
	Alkuosa	28.50					2086.3926	803.15683	5.492637347	1.102125685	138.2346	3.283708	0.548814	0.186597	50.28145	6643.90857	6713.2787		
	Loppuosa	3.50					188.24685	72.465624	0.495578869	0.099440767	12.47234	0.296275	0.049517	0.016836	4.536674	599.453259	605.71224		
	Yhteensä	32.00					2274.6	875.6	6.0	1.2	150.7	3.6	0.6	0.2	54.8	7243.4	7319.0		

Vaihtoehtoon väyläpäästöt vuodessa									
Polttoainetiedot		Kustannus (tuhatta €)	Hilji-monoksidi (CO)	Hiljiueyrt (HC)	Typen oksidi (NOx)	Huikkaset (PM)	Metaani (CH4)	Typi- oksidi (N2O)	Rikki- dioksidi (SO2)
Kulutus (tonnia)		6 045	42	8	1 073	25	4	1	389
Yhteensä		15 991	42	8	1 073	25	4	1	389

Päästökustannukset vuodessa (€)									
Hilji-monoksidi (CO)	Hiljiueyrt (HC)	Typen oksidi (NOx)	Huikkaset (PM)	Rikki- dioksidi (SO2)	Hiljidioksidi (CO2)	Yhteensä			
84	1 010	375 548	169 627	253 130	1 619 542	2 418 942			

Nopeusrajoitusvaihtoehto 2

Alustyyppi	Nopeus km/h	Matka km
Kontti	30	24,5
	30	4
	17	3,6
Konttifeeder	30	24,5
	30	4
	17	3,6
Ropax	40	24,5
	30	4
	17	3,5
Roro	36	24,5
	30	4
	17	3,6

Aluskäytisellä satamassa (kpl/vuosi)				
Kontti 1/9	Feeder 2/9	Ropax 1/3	Roro 1/3	
3100	344	889	1033	1033
4000	444	889	1333	1333
6000	556	1111	1667	1667

Nopeus (km/h)	Reitti- ja lastitiedot		Aluksen tiedot		Polttoainetiedot		Päästöt (kg)									
	Pituisuus (km)	Kuljetettu lasti (tonnia)	Suorite (tonn/km)	Tyyppi	Koko	Kuultuus (kg)	Kustannus (€)	Hill- monoksidi (CO)	Hillivety (H ₂)	Tyksen oksidi (NO _x)	Huhtakaasut (PM)	Metaan (CH ₄)	Tyyppi- oksidi (N ₂ O)	Ruuki- dioksidi (SO ₂)	Hillidioksidi (CO ₂)	Hillidioksidi ekvivalentti (CO ₂ eq.)
30	1	6000	6000	Korhialus	1300 TEU	47,8	18,4	0,13	0,03	3,51	0,07	0,01	0,00	1,15	152,11	163,68
21	1	6000	6000	Korhialus	1300 TEU	23,8	9,2	0,06	0,01	1,76	0,04	0,01	0,00	0,57	76,80	76,69
Alkupaasa	28,50					1391,338	524,0418	3,5689328	0,7281477	100,104	2,118789	0,357561	0,121571	32,80519	4335,0374	4380,3238
Yhteensä	32,00					83,30991	32,07016	0,2198161	0,0445641	6,126019	1,213655	0,021981	0,00744	2,0074	268,3529	268,3529
						1444,6	566,1	3,8	0,8	106,2	2,2	0,4	0,1	34,8	4600,3	4648,33

Nopeustrajotusvaihtoehto3

Ausustyyppi Nopeus km/h Matka km

Kontti	30	24,5
20	20	4
3,5	20	3,5
Konttifeeder	30	24,5
20	20	4
3,5	20	3,5
Ropax	40	24,5
20	20	4
3,5	20	3,5
Roro	35	24,5
20	20	4
3,5	20	3,5

Auskäyntejä satamassa (kpl/vuosi)					
Kontti 1/9	Feeder 2/9	Ropax 1/3	Roro 1/3		
3100	344	689	1033		
4000	444	889	1333		
5000	556	1111	1667		

Nopeus (km/h)	Reitti- ja lastitiedot			Aluksen tiedot		Polttoainetiedot			Päästöt (kg)							
	Pituus (km)	Kuljetettu lasti (tonnia)	Suorite (tonnikm)	Tyyppi	Koko	Kulutus (kg)	Kustannus (€)	Hilii- monoksidit (CO)	Hilii-edyt (HC)	Tyypen oksidit (NOx)	Huikaset (PM)	Metaani (CH ₄)	Typi- oksidit (N ₂ O)	Rikki- dioksidit (SO ₂)	Hilidioksidit (CO ₂)	Hilidioksidit- ekvivalentti (CO ₂ ekv.)
30	1	6000	6000	Konttialus	1300 TEU	47,8	19,4	0,13	0,03	3,51	0,07	0,01	0,00	1,15	152,11	153,69
21	1	6000	6000	Konttialus	1300 TEU	23,8	9,2	0,06	0,01	1,75	0,04	0,01	0,00	0,57	75,90	76,59
Alkuosa	24,50					1170,271	450,49694	3,084968	0,629616	86,05427	1,821416	0,307377	0,104608	29,20098	3728,6111	3785,40952
Loppuosa	7,50					178,52124	68,721751	0,470606	0,08549445	13,12718	0,277632	0,046899	0,015942	4,301672	568,48303	574,40979
Yhteensä	32,00					1348,8	519,2	3,6	0,7	99,2	2,1	0,4	0,1	32,5	4295,1	4339,9

30	1	4500	4500	Konttialus	1000 TEU	41,3	14,203	0,11	0,02	3,03	0,06	0,01	0,00	1,15	131,93	133,00
21	1	4500	4500	Konttialus	1000 TEU	20,8	7,139	0,05	0,01	1,52	0,03	0,01	0,00	0,57	66,16	66,85
Alkuosa	24,50					1011,569	347,97872	2,888521	0,54467744	74,3208	1,564901	0,29548	0,090283	28,09639	3224,8818	3258,43853
Loppuosa	7,50					156,6404	53,540299	0,410874	0,08436089	11,42524	0,239311	0,040814	0,013877	4,288278	496,18191	501,340525
Yhteensä	32,00					1167,2	401,5	3,1	0,6	85,7	1,8	0,3	0,1	32,4	3721,1	3769,8

40	1	3800	3800	Roro lastialus	330 traileria	133,8	51,423	0,35	0,07	8,56	0,21	0,04	0,01	3,22	426,38	429,92
20	1	3800	3800	Roro lastialus	330 traileria	33,4	12,856	0,09	0,02	2,21	0,05	0,01	0,00	0,86	106,35	107,48
Alkuosa	24,50					3272,7741	1269,8644	8,615608	1,72983089	216,8354	5,150903	0,860895	0,292701	78,87261	10421,822	10530,6377
Loppuosa	7,50					250,49033	89,424205	0,695418	0,1323208	19,58546	0,394208	0,005887	0,022402	6,036195	797,92958	805,95708
Yhteensä	32,00					3523,3	1359,3	9,3	1,9	233,4	5,5	0,9	0,3	84,9	11219,5	11336,6

35	1	1800	1800	Roro lastialus	150 traileria	73,2	28,191	0,19	0,04	4,56	0,12	0,02	0,01	1,76	233,12	235,55
20	1	1800	1800	Roro lastialus	150 traileria	23,9	9,202	0,06	0,01	1,58	0,04	0,01	0,00	0,58	76,12	76,92
Alkuosa	24,50					1793,5668	690,43306	4,721741	0,94744138	116,8332	2,822837	0,471787	0,160408	43,22441	5711,4302	5771,06411
Loppuosa	7,50					179,28674	69,016432	0,471891	0,09470833	11,87383	0,282168	0,04716	0,016034	4,33068	570,92071	576,881782
Yhteensä	32,00					1972,9	759,4	5,2	1,0	130,7	3,1	0,5	0,2	47,9	6282,4	6347,9

Vaihtoehtojen väyläpäästöt vuodessa

Polttoainetiedot		Päästöt (tonnia)	
Kulutus (tonnia)	Kustannus (tuhatta €)	Hilii- monoksidit (CO)	Hilii- vedyt (HC)
13 896	5 283	37	7
		838	22
		4	1
		341	44 256
		44 718	46 068

Päästökustannukset vuodessa (€)

Hilii- monoksidit (CO)	Hilii- vedyt (HC)	Tyypen oksidit (NOx)	Huukaset (PM)	Riikki- dioksidit (SO ₂)	Hilidioksidit (CO ₂)	Yhteensä
73	884	328 681	148 300	221 488	1 418 193	2 115 597